



Ingeniería Industrial

Shell Eco-marathon

Diseño de la estructura de un prototipo destinado a participar en la Shell Eco-marathon Europe.

Alumno:
Ignacio J. Dufour García

Tutor: Dr. D. Vicente Díaz López



Índice

1.	Introducción	- 1 -
1.1.	Shell Eco-marathon:.....	- 1 -
1.2.	Historia de la Shell Eco-marathon:.....	- 2 -
1.3.	Shell Eco-marathon 2014:.....	- 5 -
1.4.	Categorías:.....	- 7 -
1.5.	Equipo Shell Eco-marathon UC3M:.....	- 9 -
2.	Objetivos	- 11 -
3.	Metodología.....	- 13 -
4.	Normativa de la Shell Eco-marathon.....	- 15 -
5.	Estructuras en vehículos.....	- 23 -
5.1.	Introducción:.....	- 23 -
5.2.	Clasificación de las principales estructuras de vehículos.	- 23 -
6.	Uniones.....	- 35 -
6.1.	Introducción:.....	- 35 -
6.2.	Clasificación de las uniones.....	- 35 -
6.3.	Unión soldada.....	- 37 -
6.4.	Unión adhesiva.....	- 46 -
6.5.	Unión remachada.....	- 55 -
6.6.	Unión atornillada	- 58 -
7.	El prototipo.....	- 61 -
7.1.	Diseño del prototipo.....	- 61 -
7.2.	Consideraciones generales.....	- 61 -
7.3.	Sistema de dirección.....	- 62 -
7.4.	Sistema de tracción.....	- 64 -
7.5.	Sistema de frenado	- 67 -
7.6.	Diseño estructural.....	- 67 -
8.	Diseño de la estructura.....	- 71 -
8.1.	Restricciones de la estructura:	- 71 -
8.2.	Posición del piloto:.....	- 72 -

8.3.	Cargas soportadas por la estructura:.....	- 80 -
8.4.	Ensayos a los que se somete la estructura por normativa:.....	- 83 -
8.5.	Ensayos a los que se somete la estructura por diseño:.....	- 84 -
8.6.	Análisis de estabilidad del prototipo:.....	- 85 -
8.7.	Diseños de la estructura:	- 87 -
8.8.	Selección del material de la estructura:.....	- 92 -
8.9.	Selección del tipo de unión.....	- 95 -
9.	Modelado y análisis mediante elementos finitos de la estructura:.....	- 97 -
9.1.	Introducción.....	- 97 -
9.2.	Creación de los modelos en elementos finitos.....	- 98 -
9.3.	Ensayos:	- 104 -
9.4.	Análisis estructura 1.....	- 223 -
9.5.	Análisis estructura 2.....	- 264 -
9.6.	Análisis estructura 3.....	- 306 -
9.7.	Elección de la mejor estructura	- 347 -
10.	Conclusiones.....	- 351 -
11.	Desarrollos futuros.....	- 353 -
12.	Bibliografía	- 355 -
	Anexos.....	- 361 -
Anexo I:	Normativa Shell Eco-marathon Europe 2013	- 361 -
Anexo II:	Determinación dimensiones del piloto.....	- 377 -
Anexo III:	Determinación de los pesos de las distintas partes del piloto.....	- 380 -
Anexo IV:	Determinación de los centros de gravedad de las partes del piloto.....	- 386 -
Anexo V:	Análisis de estabilidad longitudinal del prototipo.....	- 388 -
Anexo VI:	Análisis de estabilidad lateral del prototipo.....	- 393 -
Anexo VII:	Determinación de las cargas debidas al piloto y al asiento.....	- 395 -
Anexo VII.1:	Modelado en elementos finitos.....	- 395 -
Anexo VII.2:	Ensayos.....	- 396 -
Anexo VII.3:	Procesado de los resultados de los ensayos.....	- 398 -
Anexo VIII:	Planos.....	- 399 -

Índice de figuras

Figura 1.1. Imagen escaneada de los resultados de las competiciones Shell entre los años 1939 y 1949.....	- 2 -
Figura 1.2. Imágenes de los vehículos participantes entre los años 1968 y 1974 en las competiciones Shell.....	- 3 -
Figura 1.3. Prototipo Remmi I participante en la 1ª Píscaralla Pisimmülle de 1976 y en la 1ª Shell Mileage Marathon de 1977.....	- 3 -
Figura 1.4. Prototipo participante en la Shell Eco-marathon Europe 2012.....	- 8 -
Figura 1.5. Urban Concept participante en la Shell Eco-marathon Europe 2012.....	- 8 -
Figura 5.1. Representación del bastidor de largueros de un Land Rover serie III y del vehículo completo.....	- 25 -
Figura 5.2. Representación de la carrocería autoportante de un Lancia Lambda y del automóvil completo.....	- 25 -
Figura 5.3. Representación de la carrocería autoportante de un Citroën Traktion Avant y del vehículo completo.....	- 26 -
Figura 5.4. Representación de la carrocería autoportante de un Smart y del vehículo completo.....	- 27 -
Figura 5.5. Representación del bastidor plataforma de un Renault 4 y del vehículo completo.....	- 28 -
Figura 5.6. Representación del bastidor plataforma de un Volkswagen "escarabajo" y del vehículo completo.....	- 28 -
Figura 5.7. Representación del bastidor tubular del Jaguar Type C (XK120C) y del vehículo completo.....	- 30 -
Figura 5.8. Representación del bastidor de tubo central del Tatra 11 y del vehículo completo.....	- 31 -
Figura 5.9. Representación del bastidor de tubo central del Renault Alpine A110 y del vehículo completo.....	- 31 -
Figura 5.10. Fórmula 1 Arrows A20 de 1999.....	- 33 -
Figura 6.1. Representación de los principales métodos de unión.....	- 36 -
Figura 6.2. Representación de las distintas zonas presentes en el proceso de soldado (metal fundido, ZAC y metal base).....	- 38 -
Figura 6.3. Evolución de la ZAC a lo largo del tiempo.....	- 38 -
Figura 6.4. Tipos básicos de uniones.....	- 39 -
Figura 6.5. Posiciones de realización de una soldadura.....	- 40 -
Figura 6.6. Posiciones del soldador para las distintas posiciones de realización de la soldadura.....	- 40 -
Figura 6.7. Clasificación de los procesos de realización de una unión soldada en función del proceso físico-químico empleado.....	- 41 -
Figura 6.8. Esquema del proceso de realización de la unión soldada.....	- 42 -
Figura 6.9. Esquema del proceso de formación del cordón de soldadura.....	- 42 -
Figura 6.10. Proceso de alimentación de flux en una soldadura por arco sumergido.....	- 42 -
Figura 6.11. Proceso de realización de una soldadura mediante el procedimiento MIG-MAG.....	- 43 -
Figura 6.12. Proceso de realización de una soldadura mediante el procedimiento TIG.....	- 44 -
Figura 6.13. Fotografía de una pistola de soldadura TIG junto con los electrodos empleados.....	- 44 -
Figura 6.14. Instalación necesaria para la realización de una soldadura haz de electrones.....	- 45 -
Figura 6.15. Instalación necesaria para la realización de una soldadura rayo láser.....	- 45 -
Figura 6.16. Unidad de soldado por rayo láser.....	- 46 -
Figura 6.17. Representación esquemática de una unión adhesiva.....	- 47 -
Figura 6.18. Mecanismos de fallo de una unión adhesiva.....	- 48 -
Figura 6.19. Proceso de diseño de una unión adhesiva.....	- 51 -
Figura 6.20. Distribuciones de tensión que se pueden encontrar en una unión adhesiva.....	- 52 -
Figura 6.21. Soluciones para el rediseño de uniones adhesivas sometidas a esfuerzos indeseables.....	- 52 -
Figura 6.22. Formas de maximización del área de la unión.....	- 53 -
Figura 6.23. Diseños que reducen el efecto de las fuerzas excéntricas.....	- 53 -
Figura 6.24. Evolución de las tensiones en la unión en función del solape de la junta.....	- 54 -
Figura 6.25. Curvas de curado del producto Loctite® 3423™ en función de la temperatura.....	- 55 -
Figura 6.26. Proceso de creación una unión roblonada.....	- 56 -
Figura 6.27. Proceso de creación de una unión remachada.....	- 56 -
Figura 6.28. Clasificación de remaches según su forma.....	- 56 -
Figura 6.29. Clasificación de remaches según su cabeza.....	- 57 -
Figura 6.30. Clases de remaches.....	- 57 -
Figura 6.31. Disposiciones típicas de los remaches en las uniones remachadas.....	- 58 -
Figura 6.32. Tipos de uniones atornilladas.....	- 58 -
Figura 6.33. Principales perfiles de roscas.....	- 58 -
Figura 6.34. Principales disposiciones constructivas de una unión atornillada.....	- 60 -
Figura 7.1. Propuesta de Eduardo Aparicio Reyes para el sistema de dirección para el prototipo.....	- 62 -
Figura 7.2. Propuesta de Adrián Casco Hernández para el sistema de dirección para el prototipo.....	- 63 -
Figura 7.3. Propuesta de Sergio Fuentes del Toro para el sistema de dirección para el prototipo.....	- 63 -
Figura 7.4. Propuesta de Javier Zabala Urbieto para el sistema de dirección para el prototipo.....	- 64 -
Figura 7.5. Motor seleccionado con sus curvas características.....	- 65 -
Figura 7.6. Embrague seleccionado para el prototipo.....	- 66 -
Figura 7.7. Imagen de la transmisión del prototipo.....	- 66 -
Figura 7.8. Propuesta de Eduardo Aparicio Reyes para la estructura del prototipo.....	- 68 -



Figura 7.9. Diseño de Antonio Seller Robles de la estructura del prototipo.....	68 -
Figura 7.10. Estructura construida por Antonio Seller Robles.....	69 -
Figura 7.11. Diseño de Pablo Blanco Esteban de la estructura del prototipo.....	69 -
Figura 7.12. Diseño definitivo de la carrocería del prototipo.....	70 -
Figura 8.1. Posición del piloto en el microjoule del Lycée La Joliverie participante en la Shell Eco-marathon de 2010.....	73 -
Figura 8.2. Posición del piloto en el microjoule del Lycée La Joliverie participante en la Shell Eco-marathon de 2009.....	73 -
Figura 8.3. Posición del piloto en otro prototipo participante en la Shell Eco-marathon.....	73 -
Figura 8.4. Localización de las medidas tomadas con el sujeto de pie.....	76 -
Figura 8.5. Localización de las medidas tomadas con el sujeto sentado.....	76 -
Figura 8.6. Localización de las medidas de segmentos del cuerpo.....	77 -
Figura 8.7. Localización de las medidas funcionales.....	77 -
Figura 8.8. Representación esquemática de la posición del piloto. Vista en planta.....	79 -
Figura 8.9. Representación esquemática de la posición del piloto. Vista de perfil.....	79 -
Figura 8.10. Representación esquemática de la posición del piloto. Vista frontal.....	79 -
Figura 8.11. Representación esquemática de la posición del piloto. Vista isométrica.....	79 -
Figura 8.12. Representación isométrica de los centros de gravedad de las partes del piloto.....	82 -
Figura 8.13. Representación en planta de la estructura 1.0.....	88 -
Figura 8.14. Representación en perfil de la estructura 1.0.....	88 -
Figura 8.15. Representación en alzado de la estructura 1.0.....	88 -
Figura 8.16. Representación isométrica de la estructura 1.0.....	89 -
Figura 8.17. Representación en planta de la estructura 2.0.....	89 -
Figura 8.18. Representación en perfil de la estructura 2.0.....	90 -
Figura 8.19. Representación en alzado de la estructura 2.0.....	90 -
Figura 8.20. Representación isométrica de la estructura 2.0.....	90 -
Figura 8.21. Representación en planta de la estructura 3.0.....	91 -
Figura 8.22. Representación en perfil de la estructura 3.0.....	91 -
Figura 8.23. Representación en alzado de la estructura 3.0.....	91 -
Figura 8.24. Representación isométrica de la estructura 3.0.....	91 -
Figura 8.25. Características del Lodite 9514.....	96 -
Figura 9.1. Masa por unidad de longitud en la tabla de perfiles que fabrica S.APA.....	100 -
Figura 9.2. Modelo en ANSYS de la estructura 1.0.....	101 -
Figura 9.3. Modelo en ANSYS de la estructura 2.0.....	102 -
Figura 9.4. Modelo en ANSYS de la estructura 3.0.....	102 -
Figura 9.5. Mallado del modelo en ANSYS de la estructura 1.0.....	103 -
Figura 9.6. Mallado del modelo en ANSYS de la estructura 2.0.....	103 -
Figura 9.7. Mallado del modelo en ANSYS de la estructura 3.0.....	103 -
Figura 9.8. Restricciones al desplazamiento del ensayo 1.....	104 -
Figura 9.9. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.....	105 -
Figura 9.10. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.....	106 -
Figura 9.11. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del piloto y del asiento para el ensayo 1 de la estructura 1.....	107 -
Figura 9.12. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.....	108 -
Figura 9.13. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del piloto y del asiento para el ensayo 1 de la estructura 2.....	108 -
Figura 9.14. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.....	110 -
Figura 9.15. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del piloto y del asiento para el ensayo 1 de la estructura 3.....	110 -
Figura 9.16. Restricciones al desplazamiento del ensayo 2.....	112 -
Figura 9.17. Representación de la carga de 700N del ensayo 2.....	112 -
Figura 9.18. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.....	113 -
Figura 9.19. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.....	114 -
Figura 9.20. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 2 de la estructura 1.....	115 -
Figura 9.21. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.....	116 -
Figura 9.22. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 2 de la estructura 2.....	117 -
Figura 9.23. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.....	118 -
Figura 9.24. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 2 de la estructura 3.....	119 -
Figura 9.25. Restricciones al desplazamiento del ensayo 2b.....	120 -
Figura 9.26. Representación del punto de aplicación y de la dirección de la carga de 700N del ensayo 2b.....	120 -
Figura 9.27. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.....	121 -
Figura 9.28. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.....	122 -
Figura 9.29. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 2b de la estructura 1.....	123 -
Figura 9.30. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.....	124 -
Figura 9.31. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 2b de la estructura 2.....	124 -
Figura 9.32. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.....	126 -
Figura 9.33. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 2b de la estructura 3.....	126 -
Figura 9.34. Restricciones al desplazamiento del ensayo 3.....	127 -
Figura 9.35. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.....	128 -
Figura 9.36. Representación de la carga de 700N del ensayo 3 para la estructura 1.....	129 -
Figura 9.37. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.....	129 -
Figura 9.38. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 3 de la estructura 1.....	130 -
Figura 9.39. Representación de la carga de 700N del ensayo 3 para la estructura 2.....	131 -



Figura 9.40. Representación de los puntos de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.....	132 -
Figura 9.41. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 3 de la estructura 2.....	132 -
Figura 9.42. Representación de la carga de 700N del ensayo 3 para la estructura 3.....	133 -
Figura 9.43. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.....	134 -
Figura 9.44. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 3 de la estructura 3.....	135 -
Figura 9.45. Restricciones al desplazamiento del ensayo 3b.....	136 -
Figura 9.46. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.....	137 -
Figura 9.47. Representación del punto de aplicación y de la dirección de la carga de 700N del ensayo 3b para la estructura 1.....	137 -
Figura 9.48. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.....	138 -
Figura 9.49. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 3b de la estructura 1.....	139 -
Figura 9.50. Representación de la carga de 700N del ensayo 3b para la estructura 2.....	140 -
Figura 9.51. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.....	141 -
Figura 9.52. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 3b de la estructura 2.....	142 -
Figura 9.53. Representación de la carga de 700N del ensayo 3b para la estructura 3.....	142 -
Figura 9.54. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.....	143 -
Figura 9.55. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 3b de la estructura 3.....	144 -
Figura 9.56. Restricciones al desplazamiento del ensayo 4.....	145 -
Figura 9.57. Representación de la carga de 700N del ensayo 4.....	146 -
Figura 9.58. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.....	146 -
Figura 9.59. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.....	147 -
Figura 9.60. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 4 de la estructura 1.....	148 -
Figura 9.61. Representación de los puntos de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.....	149 -
Figura 9.62. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 4 de la estructura 2.....	150 -
Figura 9.63. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.....	151 -
Figura 9.64. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 4 de la estructura 3.....	152 -
Figura 9.65. Restricciones al desplazamiento del ensayo 4b.....	153 -
Figura 9.66. Representación de la carga de 700N del ensayo 4b.....	154 -
Figura 9.67. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.....	154 -
Figura 9.68. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.....	155 -
Figura 9.69. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 4b de la estructura 1.....	156 -
Figura 9.70. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.....	157 -
Figura 9.71. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 4b de la estructura 2.....	158 -
Figura 9.72. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.....	159 -
Figura 9.73. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 4b de la estructura 3.....	160 -
Figura 9.74. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.....	161 -
Figura 9.75. Restricciones al desplazamiento del ensayo 5 de la estructura 1.....	162 -
Figura 9.76. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.....	163 -
Figura 9.77. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 5 de la estructura 1.....	164 -
Figura 9.78. Restricciones al desplazamiento del ensayo 5 de la estructura 2.....	165 -
Figura 9.79. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.....	166 -
Figura 9.80. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 5 de la estructura 2.....	167 -
Figura 9.81. Restricciones al desplazamiento del ensayo 5 de la estructura 3.....	167 -
Figura 9.82. Representación de los puntos de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.....	168 -
Figura 9.83. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 5 de la estructura 3.....	169 -
Figura 9.84. Restricciones al desplazamiento del ensayo 6.....	170 -
Figura 9.85. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.....	171 -
Figura 9.86. Representación de las cargas debidas a la normativa para el ensayo 6 de la estructura 1.....	172 -
Figura 9.87. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.....	172 -
Figura 9.88. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 6 de la estructura 1.....	173 -
Figura 9.89. Representación de las cargas debidas a la normativa para el ensayo 6 de la estructura 2.....	174 -
Figura 9.90. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.....	175 -
Figura 9.91. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 6 de la estructura 2.....	176 -
Figura 9.92. Representación de las cargas debidas a la normativa para el ensayo 6 de la estructura 3.....	177 -
Figura 9.93. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.....	178 -
Figura 9.94. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 6 de la estructura 3.....	179 -
Figura 9.95. Restricciones al desplazamiento del ensayo 6b.....	180 -
Figura 9.96. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.....	181 -
Figura 9.97. Representación de las cargas debidas a la normativa para el ensayo 6b de la estructura 1.....	182 -
Figura 9.98. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.....	183 -
Figura 9.99. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 6b de la estructura 1.....	183 -
Figura 9.100. Representación de las cargas debidas a la normativa para el ensayo 6b de la estructura 2.....	184 -
Figura 9.101. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.....	185 -
Figura 9.102. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 6b de la estructura 2.....	186 -
Figura 9.103. Representación de las cargas debidas a la normativa para el ensayo 6b de la estructura 3.....	187 -
Figura 9.104. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.....	188 -
Figura 9.105. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 6b de la estructura 3.....	189 -
Figura 9.106. Restricciones al desplazamiento del ensayo 7.....	190 -
Figura 9.107. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.....	191 -



Figura 9.108. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.....	191
Figura 9.109. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 7 de la estructura 1.....	193
Figura 9.110. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.....	194
Figura 9.111. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 7 de la estructura 2.....	195
Figura 9.112. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.....	196
Figura 9.113. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 7 de la estructura 3.....	197
Figura 9.114. Restricciones al desplazamiento del ensayo 8.....	198
Figura 9.115. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.....	199
Figura 9.116. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.....	200
Figura 9.117. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 8 de la estructura 1.....	201
Figura 9.118. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.....	202
Figura 9.119. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 8 de la estructura 2.....	203
Figura 9.120. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.....	204
Figura 9.121. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 8 de la estructura 3.....	205
Figura 9.122. Restricciones al desplazamiento del ensayo 9.....	206
Figura 9.123. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.....	206
Figura 9.124. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.....	207
Figura 9.125. Representación de la carga debida al peso del piloto para el ensayo 9 de la estructura 1.....	208
Figura 9.126. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 9 de la estructura 1.....	209
Figura 9.127. Representación de la carga debida al peso del piloto para el ensayo 9 de la estructura 2.....	210
Figura 9.128. Representación de los puntos de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.....	210
Figura 9.129. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 9 de la estructura 2.....	211
Figura 9.130. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.....	212
Figura 9.131. Representación de la carga debida al peso del piloto para el ensayo 9 de la estructura 3.....	213
Figura 9.132. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 9 de la estructura 3.....	213
Figura 9.133. Restricciones al desplazamiento del ensayo 9b.....	215
Figura 9.134. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.....	215
Figura 9.135. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.....	216
Figura 9.136. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 9b de la estructura 1.....	217
Figura 9.137. Representación de la carga debida al peso del piloto para el ensayo 9b de la estructura 1.....	218
Figura 9.138. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.....	218
Figura 9.139. Representación de la carga debida al peso del piloto para el ensayo 9b de la estructura 2.....	219
Figura 9.140. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 9b de la estructura 2.....	220
Figura 9.141. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.....	221
Figura 9.142. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 9b de la estructura 3.....	222
Figura 9.143. Representación de la carga debida al peso del piloto para el ensayo 9b de la estructura 3.....	223
Figura 9.144. Representación isométrica del mallado de la estructura 1.1.....	225
Figura 9.145. Detalle del refuerzo introducido a la estructura 1.1.....	225
Figura 9.146. Detalle del eje de la estructura 1.2.....	227
Figura 9.147. Representación isométrica del mallado de la estructura 1.2.....	228
Figura 9.148. Representación isométrica del mallado de la estructura 1.3.....	229
Figura 9.149. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 1.....	231
Figura 9.150. Tensiones de Von Mises para el ensayo 1 de la estructura 1.3.....	231
Figura 9.151. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 2.....	232
Figura 9.152. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2 de la estructura 1.3.....	232
Figura 9.153. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2 de la estructura 1.3.....	233
Figura 9.154. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 2b.....	233
Figura 9.155. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2b de la estructura 1.3.....	234
Figura 9.156. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2b de la estructura 1.3.....	234
Figura 9.157. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 3.....	235
Figura 9.158. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3 de la estructura 1.3.....	235
Figura 9.159. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 3 de la estructura 1.3.....	236
Figura 9.160. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 3b.....	236
Figura 9.161. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3b de la estructura 1.3.....	237
Figura 9.162. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 3b de la estructura 1.3.....	237
Figura 9.163. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 4.....	238
Figura 9.164. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4 de la estructura 1.3.....	238
Figura 9.165. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 4b.....	239
Figura 9.166. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4b de la estructura 1.3.....	239
Figura 9.167. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 5.....	240
Figura 9.168. Tensiones de Von Mises para el ensayo 5 de la estructura 1.3.....	240
Figura 9.169. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 6.....	241
Figura 9.170. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6 de la estructura 1.3.....	241
Figura 9.171. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 6b.....	242
Figura 9.172. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6b de la estructura 1.3.....	242
Figura 9.173. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 7.....	243
Figura 9.174. Tensiones de Von Mises para el ensayo 7 de la estructura 1.3.....	243
Figura 9.175. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 8.....	244



Figura 9.176. Tensiones de Von Mises para el ensayo 8 de la estructura 1.3.....	244
Figura 9.177. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 9.....	245
Figura 9.178. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9 de la estructura 1.3.....	245
Figura 9.179. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 9b.....	246
Figura 9.180. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9b de la estructura 1.3.....	246
Figura 9.181. Representación isométrica del mallado de la estructura 1.4.....	247
Figura 9.182. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 1.....	248
Figura 9.183. Tensiones de Von Mises para el ensayo 1 de la estructura 1.4.....	249
Figura 9.184. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 2.....	249
Figura 9.185. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2 de la estructura 1.4.....	250
Figura 9.186. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2 de la estructura 1.4.....	250
Figura 9.187. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 2b.....	251
Figura 9.188. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2b de la estructura 1.4.....	251
Figura 9.189. Tensiones de Von Mises limitada a 40 MPa para el ensayo 2b de la estructura 1.4.....	252
Figura 9.190. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 3.....	252
Figura 9.191. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3 de la estructura 1.4.....	253
Figura 9.192. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 3 de la estructura 1.4.....	253
Figura 9.193. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 3b.....	254
Figura 9.194. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3b de la estructura 1.4.....	254
Figura 9.195. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 3b de la estructura 1.4.....	255
Figura 9.196. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 4.....	255
Figura 9.197. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4 de la estructura 1.4.....	256
Figura 9.198. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 4b.....	256
Figura 9.199. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4b de la estructura 1.4.....	257
Figura 9.200. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 5.....	257
Figura 9.201. Tensiones de Von Mises para el ensayo 5 de la estructura 1.4.....	258
Figura 9.202. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 6.....	258
Figura 9.203. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6 de la estructura 1.4.....	259
Figura 9.204. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 6b.....	259
Figura 9.205. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6b de la estructura 1.4.....	260
Figura 9.206. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 7.....	260
Figura 9.207. Tensiones de Von Mises para el ensayo 7 de la estructura 1.4.....	261
Figura 9.208. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 8.....	261
Figura 9.209. Tensiones de Von Mises para el ensayo 8 de la estructura 1.4.....	262
Figura 9.210. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 9.....	262
Figura 9.211. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9 de la estructura 1.4.....	263
Figura 9.212. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 9b.....	263
Figura 9.213. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9b de la estructura 1.4.....	264
Figura 9.214. Representación en planta de la estructura 2.1 mallada.....	264
Figura 9.215. Representación en perfil de la estructura 2.1 mallada.....	265
Figura 9.216. Representación en alzado de la estructura 2.1 mallada.....	265
Figura 9.217. Representación isométrica de la estructura 2.1 mallada.....	265
Figura 9.218. Representación isométrica del mallado de la estructura 2.2.....	267
Figura 9.219. Representación isométrica del mallado de la estructura 2.3.....	269
Figura 9.220. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 1.....	270
Figura 9.221. Tensiones de Von Mises para el ensayo 1 de la estructura 2.3.....	271
Figura 9.222. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 2.....	271
Figura 9.223. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2 de la estructura 2.3.....	272
Figura 9.224. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2 de la estructura 2.3.....	272
Figura 9.225. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 2b.....	273
Figura 9.226. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2b de la estructura 2.3.....	273
Figura 9.227. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2b de la estructura 2.3.....	274
Figura 9.228. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 3.....	274
Figura 9.229. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3 de la estructura 2.3.....	275
Figura 9.230. Tensiones de Von Mises limitada a 40 MPa para el ensayo 3 de la estructura 2.3.....	275
Figura 9.231. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 3b.....	276
Figura 9.232. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3b de la estructura 2.3.....	276
Figura 9.233. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 3b de la estructura 2.3.....	277
Figura 9.234. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 4.....	277
Figura 9.235. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4 de la estructura 2.3.....	278
Figura 9.236. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 4 de la estructura 2.3.....	278
Figura 9.237. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 4b.....	279
Figura 9.238. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4b de la estructura 2.3.....	279
Figura 9.239. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 4b de la estructura 2.3.....	279
Figura 9.240. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 5.....	280
Figura 9.241. Tensiones de Von Mises para el ensayo 5 de la estructura 2.3.....	280
Figura 9.242. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 6.....	281
Figura 9.243. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6 de la estructura 2.3.....	281



Figura 9.244. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 6b.....	282 -
Figura 9.245. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6b de la estructura 2.3.....	282 -
Figura 9.246. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 6b de la estructura 2.3.....	283 -
Figura 9.247. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 7.....	283 -
Figura 9.248. Tensiones de Von Mises para el ensayo 7 de la estructura 2.3.....	284 -
Figura 9.249. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 8.....	284 -
Figura 9.250. Tensiones de Von Mises para el ensayo 8 de la estructura 2.3.....	285 -
Figura 9.251. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 9.....	285 -
Figura 9.252. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9 de la estructura 2.3.....	286 -
Figura 9.253. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 9 de la estructura 2.3.....	286 -
Figura 9.254. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 9b.....	287 -
Figura 9.255. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9b de la estructura 2.3.....	287 -
Figura 9.256. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 9b de la estructura 2.3.....	288 -
Figura 9.257. Representación isométrica del mallado de la estructura 2.4.....	288 -
Figura 9.258. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 1.....	290 -
Figura 9.259. Tensiones de Von Mises para el ensayo 1 de la estructura 2.4.....	290 -
Figura 9.260. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 2.....	291 -
Figura 9.261. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2 de la estructura 2.4.....	291 -
Figura 9.262. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2 de la estructura 2.4.....	292 -
Figura 9.263. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 2b.....	292 -
Figura 9.264. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2b de la estructura 2.4.....	293 -
Figura 9.265. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2b de la estructura 2.4.....	293 -
Figura 9.266. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 3.....	294 -
Figura 9.267. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3 de la estructura 2.4.....	294 -
Figura 9.268. Tensiones de Von Mises limitada a 40 MPa para el ensayo 3 de la estructura 2.4.....	295 -
Figura 9.269. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 3b.....	295 -
Figura 9.270. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3b de la estructura 2.4.....	296 -
Figura 9.271. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 3b de la estructura 2.4.....	296 -
Figura 9.272. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 4.....	297 -
Figura 9.273. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4 de la estructura 2.4.....	297 -
Figura 9.274. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 4b.....	298 -
Figura 9.275. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4b de la estructura 2.4.....	298 -
Figura 9.276. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 5.....	299 -
Figura 9.277. Tensiones de Von Mises para el ensayo 5 de la estructura 2.4.....	299 -
Figura 9.278. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 6.....	300 -
Figura 9.279. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6 de la estructura 2.4.....	300 -
Figura 9.280. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 6b.....	301 -
Figura 9.281. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6b de la estructura 2.4.....	301 -
Figura 9.282. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 7.....	302 -
Figura 9.283. Tensiones de Von Mises para el ensayo 7 de la estructura 2.4.....	302 -
Figura 9.284. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 8.....	303 -
Figura 9.285. Tensiones de Von Mises para el ensayo 8 de la estructura 2.4.....	303 -
Figura 9.286. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 9.....	304 -
Figura 9.287. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9 de la estructura 2.4.....	304 -
Figura 9.288. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 9 de la estructura 2.4.....	304 -
Figura 9.289. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 9b.....	305 -
Figura 9.290. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9b de la estructura 2.4.....	305 -
Figura 9.291. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 9b de la estructura 2.4.....	306 -
Figura 9.292. Representación en planta de la estructura 3.1.....	307 -
Figura 9.293. Representación en perfil de la estructura 3.1.....	307 -
Figura 9.294. Representación en alzado de la estructura 3.1.....	307 -
Figura 9.295. Representación isométrica de la estructura 3.1.....	308 -
Figura 9.296. Representación isométrica del mallado de la estructura 3.2.....	309 -
Figura 9.297. Representación isométrica del mallado de la estructura 3.3.....	311 -
Figura 9.298. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 1.....	312 -
Figura 9.299. Tensiones de Von Mises para el ensayo 1 de la estructura 3.3.....	312 -
Figura 9.300. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 2.....	313 -
Figura 9.301. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2 de la estructura 3.3.....	313 -
Figura 9.302. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2 de la estructura 3.3.....	314 -
Figura 9.303. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 2b.....	314 -
Figura 9.304. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2b de la estructura 3.3.....	315 -
Figura 9.305. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2b de la estructura 3.3.....	315 -
Figura 9.306. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 3.....	316 -
Figura 9.307. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3 de la estructura 3.3.....	316 -
Figura 9.308. Tensiones de Von Mises limitada a 40 MPa para el ensayo 3 de la estructura 3.3.....	317 -
Figura 9.309. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 3b.....	317 -
Figura 9.310. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3b de la estructura 3.3.....	318 -
Figura 9.311. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 3b de la estructura 3.3.....	318 -



Figura 9.312. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 4.....	319 -
Figura 9.313. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4 de la estructura 3.3.....	319 -
Figura 9.314. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 4b.....	320 -
Figura 9.315. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4b de la estructura 3.3.....	320 -
Figura 9.316. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 5.....	321 -
Figura 9.317. Tensiones de Von Mises para el ensayo 5 de la estructura 3.3.....	321 -
Figura 9.318. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 6.....	322 -
Figura 9.319. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6 de la estructura 3.3.....	323 -
Figura 9.320. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 6b.....	323 -
Figura 9.321. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6b de la estructura 3.3.....	324 -
Figura 9.322. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 7.....	324 -
Figura 9.323. Tensiones de Von Mises para el ensayo 7 de la estructura 3.3.....	325 -
Figura 9.324. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 8.....	325 -
Figura 9.325. Tensiones de Von Mises para el ensayo 8 de la estructura 3.3.....	326 -
Figura 9.326. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 9.....	326 -
Figura 9.327. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9 de la estructura 3.3.....	327 -
Figura 9.328. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 9 de la estructura 3.3.....	327 -
Figura 9.329. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 9b.....	328 -
Figura 9.330. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9b de la estructura 3.3.....	328 -
Figura 9.331. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 9b de la estructura 3.3.....	329 -
Figura 9.332. Representación isométrica del mallado de la estructura 3.4.....	329 -
Figura 9.333. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 1.....	331 -
Figura 9.334. Tensiones de Von Mises para el ensayo 1 de la estructura 3.4.....	331 -
Figura 9.335. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 2.....	332 -
Figura 9.336. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2 de la estructura 3.4.....	332 -
Figura 9.337. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2 de la estructura 3.4.....	333 -
Figura 9.338. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 2b.....	333 -
Figura 9.339. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2b de la estructura 3.4.....	334 -
Figura 9.340. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2b de la estructura 3.4.....	334 -
Figura 9.341. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 3.....	335 -
Figura 9.342. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3 de la estructura 3.4.....	335 -
Figura 9.343. Tensiones de Von Mises limitada a 40 MPa para el ensayo 3 de la estructura 3.4.....	336 -
Figura 9.344. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 3b.....	336 -
Figura 9.345. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3b de la estructura 3.4.....	337 -
Figura 9.346. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 3b de la estructura 3.4.....	337 -
Figura 9.347. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 4.....	338 -
Figura 9.348. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4 de la estructura 3.4.....	338 -
Figura 9.349. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 4b.....	339 -
Figura 9.350. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4b de la estructura 3.4.....	339 -
Figura 9.351. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 5.....	340 -
Figura 9.352. Tensiones de Von Mises para el ensayo 5 de la estructura 3.4.....	340 -
Figura 9.353. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 6.....	341 -
Figura 9.354. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6 de la estructura 3.4.....	341 -
Figura 9.355. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 6b.....	342 -
Figura 9.356. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6b de la estructura 3.4.....	342 -
Figura 9.357. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 7.....	343 -
Figura 9.358. Tensiones de Von Mises para el ensayo 7 de la estructura 3.4.....	343 -
Figura 9.359. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 8.....	344 -
Figura 9.360. Tensiones de Von Mises para el ensayo 8 de la estructura 3.4.....	344 -
Figura 9.361. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 9.....	345 -
Figura 9.362. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9 de la estructura 3.4.....	345 -
Figura 9.363. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 9 de la estructura 3.4.....	345 -
Figura 9.364. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 9b.....	346 -
Figura 9.365. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9b de la estructura 3.4.....	346 -
Figura 9.366. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 9b de la estructura 3.4.....	347 -



Índice de tablas

Tabla 6.1. Clasificación de los métodos de unión en función de la duración y la forma de realización de la unión.....	37 -
Tabla 6.2. Posiciones de realización de una soldadura.....	39 -
Tabla 8.1. Datos antropométricos de la población laboral española.....	75 -
Tabla 8.2. Dimensiones del espacio ocupado por el piloto en la posición de conducción.....	78 -
Tabla 8.3. Datos antropométricos del peso de distintos segmentos del cuerpo humano.....	81 -
Tabla 8.4. Pesos de las distintas partes del cuerpo del piloto junto con los pesos de la equipación necesaria.....	81 -
Tabla 8.5. Coordenadas de los centros de gravedad de las distintas partes del cuerpo del piloto.....	82 -
Tabla 8.6. Pesos y coordenadas del centro de gravedad de los elementos del sistema matriz.....	83 -
Tabla 8.7. Pesos y coordenadas del centro de gravedad de otros elementos del prototipo.....	83 -
Tabla 8.8. Peso y coordenadas del centro de gravedad del prototipo.....	85 -
Tabla 8.9. Aceleración y deceleración límite de vuelo para el prototipo.....	86 -
Tabla 8.10. Velocidades límite de vuelo para el prototipo en función del radio y sentido de la curva.....	87 -
Tabla 8.11. Propiedades de la aleación de aluminio 6082 T6.....	95 -
Tabla 9.1. Propiedades de la aleación de aluminio 6082 T6.....	99 -
Tabla 9.2. Características del material introducidas en ANSYS.....	99 -
Tabla 9.3. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 1.....	105 -
Tabla 9.4. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 1 de la estructura 1.....	106 -
Tabla 9.5. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 1 de la estructura 1.....	106 -
Tabla 9.6. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 1 de la estructura 1.....	107 -
Tabla 9.7. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 1 de la estructura 2.....	108 -
Tabla 9.8. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 1 de la estructura 2.....	109 -
Tabla 9.9. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 1 de la estructura 2.....	109 -
Tabla 9.10. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 1 de la estructura 3.....	110 -
Tabla 9.11. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 1 de la estructura 3.....	111 -
Tabla 9.12. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 1 de la estructura 3.....	111 -
Tabla 9.13. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 2.....	113 -
Tabla 9.14. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 2 de la estructura 1.....	113 -
Tabla 9.15. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 2 de la estructura 1.....	114 -
Tabla 9.16. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 2 de la estructura 1.....	114 -
Tabla 9.17. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 2 de la estructura 2.....	115 -
Tabla 9.18. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 2 de la estructura 2.....	116 -
Tabla 9.19. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 2 de la estructura 2.....	116 -
Tabla 9.20. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 2 de la estructura 3.....	117 -
Tabla 9.21. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 2 de la estructura 3.....	118 -
Tabla 9.22. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 2 de la estructura 3.....	118 -
Tabla 9.23. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 2b.....	120 -
Tabla 9.24. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 2b de la estructura 1.....	121 -
Tabla 9.25. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 2b de la estructura 1.....	122 -
Tabla 9.26. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 2b de la estructura 1.....	122 -
Tabla 9.27. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 2b de la estructura 2.....	123 -
Tabla 9.28. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 2b de la estructura 2.....	124 -
Tabla 9.29. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 2b de la estructura 2.....	125 -
Tabla 9.30. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 2b de la estructura 3.....	125 -
Tabla 9.31. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 2b de la estructura 3.....	126 -
Tabla 9.32. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 2b de la estructura 3.....	127 -
Tabla 9.33. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 3.....	128 -
Tabla 9.34. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 3 de la estructura 1.....	129 -
Tabla 9.35. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 3 de la estructura 1.....	130 -
Tabla 9.36. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 3 de la estructura 1.....	130 -
Tabla 9.37. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 3 de la estructura 2.....	131 -
Tabla 9.38. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 3 de la estructura 2.....	132 -
Tabla 9.39. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 3 de la estructura 2.....	133 -
Tabla 9.40. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 3 de la estructura 3.....	134 -
Tabla 9.41. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 3 de la estructura 3.....	134 -
Tabla 9.42. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 3 de la estructura 3.....	135 -
Tabla 9.43. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 3b.....	136 -
Tabla 9.44. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 3b de la estructura 1.....	138 -
Tabla 9.45. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 3b de la estructura 1.....	139 -



Tabla 9.46. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 3b de la estructura 1.....	139 -
Tabla 9.47. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 3b de la estructura 2.....	140 -
Tabla 9.48. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 3b de la estructura 2.....	141 -
Tabla 9.49. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 3b de la estructura 2.....	141 -
Tabla 9.50. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 3b de la estructura 3.....	143 -
Tabla 9.51. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 3b de la estructura 3.....	144 -
Tabla 9.52. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 3b de la estructura 3.....	144 -
Tabla 9.53. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 4.....	146 -
Tabla 9.54. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 4 de la estructura 1.....	147 -
Tabla 9.55. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 4 de la estructura 1.....	148 -
Tabla 9.56. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 4 de la estructura 1.....	148 -
Tabla 9.57. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 4 de la estructura 2.....	149 -
Tabla 9.58. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 4 de la estructura 2.....	150 -
Tabla 9.59. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 4 de la estructura 2.....	150 -
Tabla 9.60. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 4 de la estructura 3.....	151 -
Tabla 9.61. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 4 de la estructura 3.....	152 -
Tabla 9.62. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 4 de la estructura 3.....	152 -
Tabla 9.63. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 4b.....	154 -
Tabla 9.64. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 4b de la estructura 1.....	155 -
Tabla 9.65. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 4b de la estructura 1.....	155 -
Tabla 9.66. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 4b de la estructura 1.....	156 -
Tabla 9.67. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 4b de la estructura 2.....	157 -
Tabla 9.68. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 4b de la estructura 2.....	158 -
Tabla 9.69. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 4b de la estructura 2.....	158 -
Tabla 9.70. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 4b de la estructura 3.....	159 -
Tabla 9.71. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 4b de la estructura 3.....	160 -
Tabla 9.72. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 4b de la estructura 3.....	160 -
Tabla 9.73. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 5.....	161 -
Tabla 9.74. Coordenadas de los andajes del cinturón de seguridad para el ensayo 5 de la estructura 1.....	162 -
Tabla 9.75. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 5 de la estructura 1.....	163 -
Tabla 9.76. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 5 de la estructura 1.....	163 -
Tabla 9.77. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 5 de la estructura 1.....	164 -
Tabla 9.78. Coordenadas de los andajes del cinturón de seguridad para el ensayo 5 de la estructura 2.....	164 -
Tabla 9.79. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 5 de la estructura 2.....	165 -
Tabla 9.80. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 5 de la estructura 2.....	166 -
Tabla 9.81. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 5 de la estructura 2.....	166 -
Tabla 9.82. Coordenadas de los andajes del cinturón de seguridad para el ensayo 5 de la estructura 3.....	167 -
Tabla 9.83. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 5 de la estructura 3.....	168 -
Tabla 9.84. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 5 de la estructura 3.....	169 -
Tabla 9.85. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 5 de la estructura 3.....	169 -
Tabla 9.86. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 6.....	170 -
Tabla 9.87. Cargas y punto de aplicación debidas a la normativa para el ensayo 6 de la estructura 1.....	171 -
Tabla 9.88. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 6 de la estructura 1.....	172 -
Tabla 9.89. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 6 de la estructura 1.....	173 -
Tabla 9.90. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 6 de la estructura 1.....	174 -
Tabla 9.91. Cargas y punto de aplicación debidas a la normativa para el ensayo 6 de la estructura 2.....	174 -
Tabla 9.92. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 6 de la estructura 2.....	175 -
Tabla 9.93. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 6 de la estructura 2.....	176 -
Tabla 9.94. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 6 de la estructura 2.....	176 -
Tabla 9.95. Cargas y punto de aplicación debidas a la normativa para el ensayo 6 de la estructura 3.....	177 -
Tabla 9.96. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 6 de la estructura 3.....	178 -
Tabla 9.97. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 6 de la estructura 3.....	179 -
Tabla 9.98. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 6 de la estructura 3.....	179 -
Tabla 9.99. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 6b.....	180 -
Tabla 9.100. Cargas y punto de aplicación debidas a la normativa para el ensayo 6b de la estructura 1.....	181 -
Tabla 9.101. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 6b de la estructura 1.....	182 -
Tabla 9.102. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 6b de la estructura 1.....	183 -
Tabla 9.103. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 6b de la estructura 1.....	184 -
Tabla 9.104. Cargas y punto de aplicación debidas a la normativa para el ensayo 6b de la estructura 2.....	184 -
Tabla 9.105. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 6b de la estructura 2.....	185 -
Tabla 9.106. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 6b de la estructura 2.....	186 -
Tabla 9.107. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 6b de la estructura 2.....	186 -
Tabla 9.108. Cargas y punto de aplicación debidas a la normativa para el ensayo 6b de la estructura 3.....	187 -
Tabla 9.109. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 6b de la estructura 3.....	188 -
Tabla 9.110. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 6b de la estructura 3.....	188 -
Tabla 9.111. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 6b de la estructura 3.....	189 -
Tabla 9.112. Componentes de la fuerza de la gravedad para el ensayo 7.....	190 -
Tabla 9.113. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 7.....	190 -



Tabla 9.114. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 7 de la estructura 1.....	192 -
Tabla 9.115. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 7 de la estructura 1.....	192 -
Tabla 9.116. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 7 de la estructura 1.....	193 -
Tabla 9.117. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 7 de la estructura 2.....	194 -
Tabla 9.118. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 7 de la estructura 2.....	195 -
Tabla 9.119. Cargas en las uniones debidas al piloto y al asiento en el ensayo 7 de la estructura 2.....	195 -
Tabla 9.120. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 7 de la estructura 3.....	196 -
Tabla 9.121. Cargas en las barras debidas al piloto y al asiento en el ensayo 7 de la estructura 3.....	197 -
Tabla 9.122. Cargas en las uniones debidas al piloto y al asiento en el ensayo 7 de la estructura 3.....	197 -
Tabla 9.123. Componentes de la fuerza de la gravedad para el ensayo 8.....	198 -
Tabla 9.124. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 8.....	199 -
Tabla 9.125. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 8 de la estructura 1.....	200 -
Tabla 9.126. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 8 de la estructura 1.....	200 -
Tabla 9.127. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 8 de la estructura 1.....	201 -
Tabla 9.128. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 8 de la estructura 2.....	202 -
Tabla 9.129. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 8 de la estructura 2.....	202 -
Tabla 9.130. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 8 de la estructura 2.....	203 -
Tabla 9.131. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 8 de la estructura 3.....	204 -
Tabla 9.132. Cargas en las barras debidas al piloto y al asiento en el ensayo 8 de la estructura 3.....	204 -
Tabla 9.133. Cargas en las uniones debidas al piloto y al asiento en el ensayo 8 de la estructura 3.....	205 -
Tabla 9.134. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 9.....	207 -
Tabla 9.135. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 9 de la estructura 1.....	207 -
Tabla 9.136. Carga debida al peso del piloto para el ensayo 9 de la estructura 1.....	208 -
Tabla 9.137. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 9 de la estructura 1.....	208 -
Tabla 9.138. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 9 de la estructura 1.....	209 -
Tabla 9.139. Carga junto a su punto de aplicación correspondiente al piloto para el ensayo 9 de la estructura 2.....	209 -
Tabla 9.140. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 9 de la estructura 2.....	210 -
Tabla 9.141. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 9 de la estructura 2.....	211 -
Tabla 9.142. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 9 de la estructura 2.....	211 -
Tabla 9.143. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 9 de la estructura 3.....	212 -
Tabla 9.144. Carga junto a su punto de aplicación correspondiente al piloto para el ensayo 9 de la estructura 3.....	212 -
Tabla 9.145. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 9 de la estructura 3.....	214 -
Tabla 9.146. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 9 de la estructura 3.....	214 -
Tabla 9.147. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 9b.....	215 -
Tabla 9.148. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 9b de la estructura 1.....	216 -
Tabla 9.149. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 9b de la estructura 1.....	217 -
Tabla 9.150. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 9b de la estructura 1.....	217 -
Tabla 9.151. Carga junto a su punto de aplicación correspondiente al piloto para el ensayo 9b de la estructura 1.....	218 -
Tabla 9.152. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 9b de la estructura 2.....	219 -
Tabla 9.153. Carga junto a su punto de aplicación correspondiente al piloto para el ensayo 9b de la estructura 2.....	219 -
Tabla 9.154. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 9b de la estructura 2.....	220 -
Tabla 9.155. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 9b de la estructura 2.....	220 -
Tabla 9.156. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 9b de la estructura 3.....	221 -
Tabla 9.157. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 9b de la estructura 3.....	222 -
Tabla 9.158. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 9b de la estructura 3.....	222 -
Tabla 9.159. Carga junto a su punto de aplicación correspondiente al piloto para el ensayo 9b de la estructura 3.....	223 -
Tabla 9.160. Resultados de los ensayos para la estructura 1.0.....	224 -
Tabla 9.161. Resultados de los ensayos para la estructura 1.1.....	226 -
Tabla 9.162. Resultados de los ensayos para la estructura 1.2.....	228 -
Tabla 9.163. Resultados de los ensayos para la estructura 1.3.....	230 -
Tabla 9.164. Resultados de los ensayos para la estructura 1.4.....	248 -
Tabla 9.165. Resultados de los ensayos para la estructura 2.1.....	266 -
Tabla 9.166. Resultados de los ensayos para la estructura 2.2.....	268 -
Tabla 9.167. Resultados de los ensayos para la estructura 2.3.....	270 -
Tabla 9.168. Resultados de los ensayos para la estructura 2.4.....	289 -
Tabla 9.169. Resultados de los ensayos para la estructura 3.1.....	308 -
Tabla 9.170. Resultados de los ensayos para la estructura 3.2.....	310 -
Tabla 9.171. Resultados de los ensayos para la estructura 3.3.....	311 -
Tabla 9.172. Resultados de los ensayos para la estructura 3.4.....	330 -
Tabla 9.173. Resumen tensiones y pesos de las estructuras para todos los ensayos.....	348 -
Tabla 9.174. Ensayos clasificados por su importancia junto a su peso ponderado.....	349 -
Tabla Anexo VII. 1. Propiedades del material compuesto de fibra de carbono seleccionado.....	395 -
Tabla Anexo VII. 2. Coordenadas de los puntos de andaje del asiento a la estructura 1 y a la estructura 2.....	396 -
Tabla Anexo VII. 3. Coordenadas de los puntos de andaje del asiento a la estructura 3.....	396 -
Tabla Anexo VII. 4. Cargas debidas al piloto para el ensayo II del asiento.....	397 -
Tabla Anexo VII. 5. Componentes de la fuerza de la gravedad para el ensayo III.....	397 -
Tabla Anexo VII. 6. Cargas debidas al piloto para el ensayo III del asiento.....	398 -
Tabla Anexo VIII. 1. Conjuntos de barras que constituyen la estructura definitiva.....	399 -



1. Introducción

La finalidad de este proyecto es el diseño de la estructura del prototipo que el equipo Shell Eco-marathon UC3M, perteneciente a la asociación Escudería UC3M de la Universidad Carlos III de Madrid, va emplear para participar en la próxima Shell Eco-marathon Europe [84], que se celebrará en mayo de 2014 en la ciudad de Rotterdam en los Países Bajos.

1.1. *Shell Eco-marathon:*

En la Shell Eco-marathon se desafía a estudiantes de todo el mundo para ser los que diseñen, construyan y conduzcan el vehículo que alcance la meta consumiendo la menor cantidad de energía.

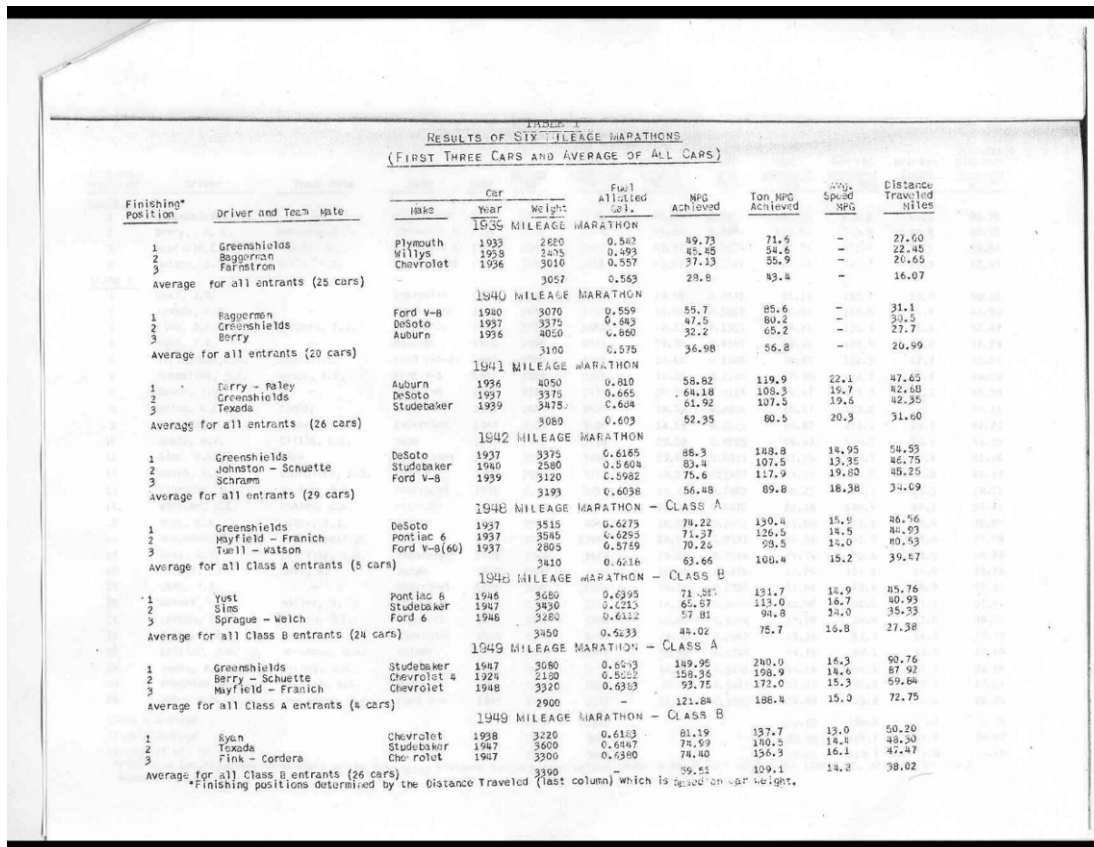
Anualmente se celebran ediciones de esta competición en America, Asia y Europa a las que concurren cientos de equipos con diseños en muchos casos poco convencionales, en los que sus diseñadores han tenido que aplicar las destrezas y conocimientos adquiridos durante sus estudios a fin de llevar a cabo sus ideas innovadoras. Resultando que, en algunos equipos, se pueden ver diseños que años después incorporarán los vehículos de calle.

Previamente a detallar las normas y características de la competición, es conveniente repasar los hitos históricos que han conducido a la creación de la Shell Eco-marathon en 1985 y a que del 15 al 19 de mayo de 2013 se haya celebrado la 29ª edición de la Shell Eco-marathon Europe.

1.2. Historia de la Shell Eco-marathon:

1.2.1. Origen de la competición

En 1939 en el laboratorio de investigación que tiene Shell en la refinería de Wood River, Illinois (Estados Unidos), se apuesta entre los científicos del centro quien consigue recorrer, en su propio vehículo, la mayor distancia con un galón de gasolina. Obteniendo el ganador un resultado de 49,7 mpg_{US} (21,12 km por litro) como se puede apreciar en la Figura 1.1, que corresponde a un documento de la época con los resultados obtenidos hasta 1949 [98].



Finishing Position	Driver and Team	Make	Year	Weight (lbs)	Fuel Allowed (gal.)	MPG Achieved	Ton. MPG Achieved	Avg. Speed (MPG)	Distance Traveled (miles)
1939 MILEAGE MARATHON									
1	Greenshields	Plymouth	1939	2680	0.582	49.73	71.5	-	27.60
2	Baggerman	Willys	1938	2405	0.493	45.45	34.6	-	22.45
3	Farnstrom	Chevrolet	1936	3010	0.557	37.13	55.9	-	26.65
Average for all entrants (25 cars)									
				3057	0.563	28.8	83.4	-	16.07
1940 MILEAGE MARATHON									
1	Baggerman	Ford V-8	1940	3070	0.559	55.7	85.6	-	31.1
2	Greenshields	DeSoto	1937	3375	0.493	47.5	80.2	-	30.5
3	Berry	Auburn	1936	4050	0.850	32.2	65.2	-	27.7
Average for all entrants (20 cars)									
				3100	0.575	36.98	56.8	-	20.99
1941 MILEAGE MARATHON									
1	Berry - Foley	Auburn	1936	4050	0.810	58.82	119.9	22.1	47.65
2	Greenshields	DeSoto	1937	3375	0.665	64.18	108.3	16.7	42.68
3	Texada	Studebaker	1939	3475	0.604	61.92	107.5	19.6	42.35
Average for all entrants (26 cars)									
				3089	0.603	52.35	80.5	20.3	31.60
1942 MILEAGE MARATHON									
1	Greenshields	DeSoto	1937	3375	0.6165	86.3	189.8	14.95	54.53
2	Johnston - Schuette	Studebaker	1940	2580	0.5408	83.4	107.5	13.35	46.75
3	Schram	Ford V-8	1939	3120	0.5982	75.6	117.9	19.80	45.25
Average for all entrants (29 cars)									
				3193	0.6038	56.48	89.8	18.38	34.69
1943 MILEAGE MARATHON - CLASS A									
1	Greenshields	DeSoto	1937	3515	0.6273	78.22	130.4	15.9	46.56
2	Hayfield - Franich	Pontiac 6	1937	3585	0.6255	71.37	126.5	14.5	40.93
3	Tuill - Watson	Ford V-8(60)	1937	2805	0.5759	70.24	98.5	14.0	40.53
Average for all Class A entrants (5 cars)									
				3410	0.6216	63.66	108.4	15.2	39.47
1943 MILEAGE MARATHON - CLASS B									
1	Yost	Pontiac 6	1946	3680	0.6395	71.88	131.7	14.9	45.76
2	Sims	Studebaker	1947	3430	0.6213	65.57	113.0	16.7	40.93
3	Sprague - Welch	Ford 6	1946	3260	0.6112	57.81	94.8	14.0	35.53
Average for all Class B entrants (24 cars)									
				3450	0.6233	64.02	75.7	16.8	27.38
1949 MILEAGE MARATHON - CLASS A									
1	Greenshields	Studebaker	1947	3080	0.6513	149.95	280.0	14.3	50.76
2	Berry - Schuette	Chevrolet 4	1924	2130	0.5052	158.36	198.9	14.6	87.92
3	Hayfield - Franich	Chevrolet	1948	3320	0.6313	93.75	172.0	15.3	59.64
Average for all Class A entrants (4 cars)									
				2900	-	121.84	188.4	15.0	72.75
1949 MILEAGE MARATHON - CLASS B									
1	Syon	Chevrolet	1938	3220	0.6183	81.19	137.7	13.0	50.20
2	Texada	Studebaker	1947	3600	0.6847	78.59	140.5	14.4	45.50
3	Pink - Cordora	Chevrolet	1947	3300	0.6380	74.40	126.3	16.1	47.47
Average for all Class B entrants (26 cars)									
				3360	-	59.51	109.1	14.2	38.02

Finishing positions determined by the distance traveled (last column) which is based on car weight.

Figura 1.1. Imagen escaneada de los resultados de las competiciones Shell entre los años 1939 y 1949 [98].

En posteriores ediciones se obtuvieron los siguientes resultados:

- En 1949 con un Studebaker de 1947 se alcanzaron las 149,95 mpg_{US} (63,35 km por litro).
- En 1968 con un Fiat 600 de 1959 se alcanzaron las 244,35 mpg_{US} (103,74 km por litro).
- En 1973 con un Opel de 1959 se alcanzaron las 376,59 mpg_{US} (159,85 km por litro).

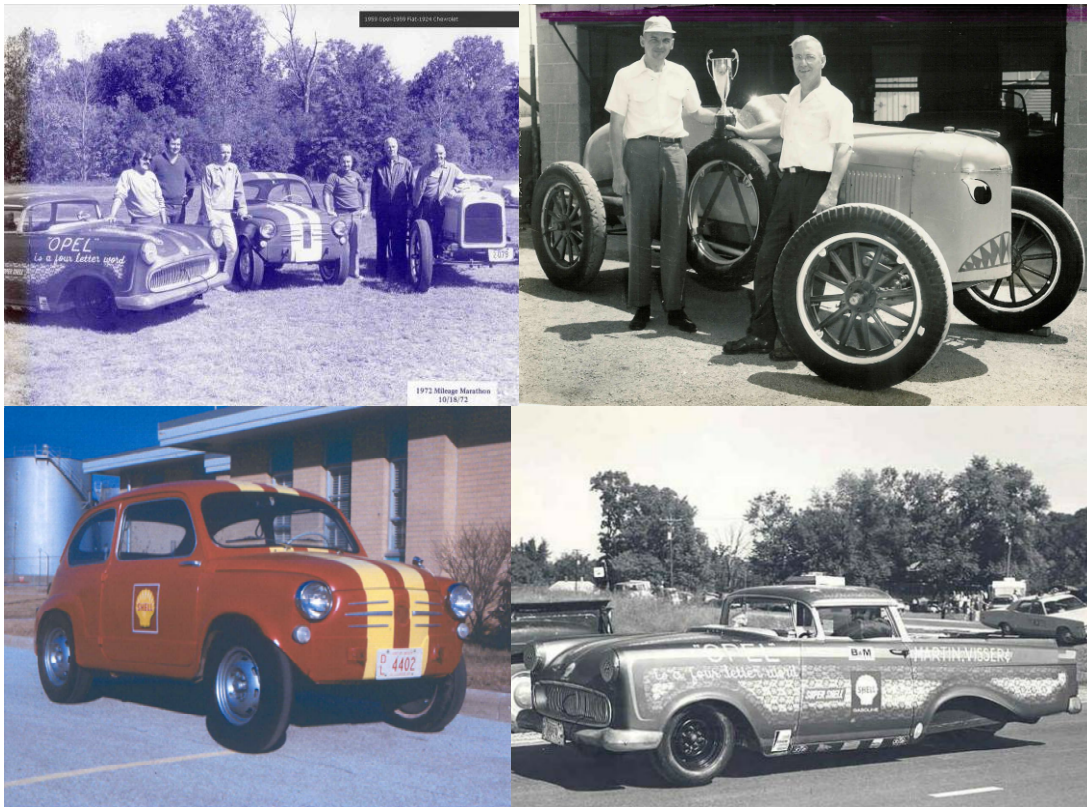


Figura 1.2. Imágenes de los vehículos participantes entre los años 1968 y 1974 en las competiciones Shell [98].

A consecuencia de la crisis del petróleo de 1973, en la que la Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo decidió no exportar petróleo a los países que apoyaron a Israel en la guerra del Yom Kippur (Europa Occidental y Estados Unidos), se aumentó la conciencia de la necesidad de mejorar la eficiencia energética de los vehículos y años después empezaron a surgir las primeras competiciones de prototipos de bajo consumo.



Figura 1.3. Prototipo Remmi I participante en la 1ª Písaralla Písimmälle de 1976 y en la 1ª Shell Mileage Marathon de 1977 [68].

En 1976 se organiza en Finlandia la primera Pissaralla Pissimmälle (cuyo nombre se puede traducir como aprovecha hasta la última gota), en 1977 se organiza en Mallory Park (Reino Unido) la primera Shell Mileage Marathon. Realizándose en años posteriores competiciones similares en distintos países europeos [57] [68] [81] [106].

1.2.2. *Cronología de la competición*

En 1985 en el circuito Paul Ricard en Le Castellet (Var), en la región de Provenza-Alpes-Costa Azul (Francia), se realizó la primera Shell Eco-marathon alcanzándose una marca de 680 km por litro. Durante los siguientes años la competición se celebra anualmente en este circuito hasta 1999, año en el que la competición se traslada al circuito de Paul Armagnac en Nogaro (Getz), en la región de Mediodía-Pirineos (Francia) [57].

En 2002 se admite de forma experimental la participación de un prototipo solar.

En 2003 se consolida la categoría de coche eléctrico solar y se abre la posibilidad de participar con vehículos propulsados por combustibles no fósiles, como el hidrógeno [106]. Este mismo año, se crea la categoría *Urban Concept*, que se corresponde con vehículos más similares a los que pueden circular por las carreteras [79].

En 2004, con la celebración de la vigésima edición, la Shell Eco-marathon recibe el patrocinio de la Comisión de Transporte y Energía de la Unión Europea [19].

En 2005 la competición pasa a denominarse Shell Eco-marathon Europe.

En 2007 en el circuito de California Speedway en Fontana, California (Estados Unidos) se celebra la primera edición de la Shell Eco-marathon Americas [14] [81].

Para la edición de 2009, Shell decide unificar las competiciones que patrocinaba en Europa bajo el nombre de Shell Eco-marathon Europe y realizar la competición en un punto más centrado en Europa, para ello se elige inicialmente el circuito de Hockenheim, en el oeste de Alemania, que a principios de 2009 es sustituido por el circuito EuroSpeedway de Lausitz, en el este de Alemania. Circuito en el que se siguen consiguiendo distancias cada vez más asombrosas, 4896 kilómetros

por litro equivalente de gasolina para un vehículo de hidrogeno [33]. Este mismo año, se crea la categoría *Urban Concept* en la Shell Eco-marathon Americas a semejanza de la categoría *Urban Concept* que se realiza en la Shell Eco-marathon Europe desde 2003 [11].

En 2010 en el Sepang International Circuit en Kuala Lumpur, (Malasia) se realiza la primera edición de la Shell Eco-marathon Asia contando con participantes en las categorías prototipo y *Urban Concept* [99]. Este mismo año, la Shell Eco-marathon Americas pasa a realizarse en un circuito urbano en el parque Discovery Green en Houston, Tejas (Estados Unidos) [15].

La edición de 2012 de la Shell Eco-marathon Europe se decide realizar en un circuito urbano, eligiéndose para ello la ciudad de Rotterdam (Países Bajos). Este cambio en la competición implica una mayor complejidad en la prueba y una reducción de la distancia recorrida en cada intento [82].

A consecuencia de la buena experiencia cosechada en Rotterdam, se confirma para las ediciones de 2013 y 2014 de la Shell Eco-marathon Europe su realización en el circuito urbano de la ciudad de Rotterdam (Países Bajos).

En 2013 se decide unificar las categorías solar y eléctrico por baterías en una sola categoría. Además desde esta edición los vehículos de hidrogeno pasan a calcularse como kilómetros recorridos por kilovatio hora como los eléctricos [83]. El 25 de junio una semana antes de iniciarse la competición se suspende la 4ª edición de la Shell Eco-marathon Asia, a consecuencia de la elevada contaminación que se está registrando en Kuala Lumpur y se decide realizar la competición en febrero de 2014 en Manila, Filipinas [80].

1.3. *Shell Eco-marathon 2014:*

En 2014 se celebraran la 4ª edición de la Shell Eco-marathon Asia en Manila, la 8ª edición de la Shell Eco-marathon Americas en Houston y la 30ª edición de la Shell Eco-marathon Europe en Rotterdam [80].

Al ser la edición Europea la que corresponde por área geográfica al equipo de la Universidad Carlos III de Madrid, a continuación se va a profundizar un poco más en dicha competición.

1.3.1. *Shell Eco-marathon Europe 2014:*

En septiembre de 2013 se abrirá el plazo de inscripción para la 30ª edición de la Shell Eco-marathon Europe que se celebrará en mayo de 2014 en el circuito urbano realizado en los alrededores del Ahoy arena en la ciudad de Rotterdam (Países Bajos). Y ese mismo mes se publicará la normativa de la edición 2014 de la competición. Por ello, en este proyecto se empleará la normativa de la edición de 2013.

En la 29ª edición de Shell Eco-marathon Europe, que se celebró en el circuito urbano anteriormente mencionado en los alrededores del Ahoy arena del 15 al 19 de mayo de 2013, se inscribieron 224 equipos de 24 países entre los que había 16 equipos españoles [83]. Realizándose paralelamente a la competición el foro Powering Progress Together que trató sobre “la mayor capacidad de adaptación social”. En dicho foro participaron alrededor de 500 líderes de opinión europeos, entre los que se encontraron representantes de empresas, ONG y gobiernos, así como futuros líderes, donde debatieron la manera en que las asociaciones que se establecen entre empresas, colectivos de la sociedad civil y autoridades locales les ayudarán a sobrevivir, adaptarse y crecer en un mundo volátil, en el que pueden tener lugar alteraciones provocadas por conflictos de recursos, tensiones sociales o desastres naturales, como las sequías o las inundaciones [83].

Participaron en la categoría prototipo: 13 equipos alemanes, 2 equipos austriacos, 7 equipos belgas, 4 equipos británicos, 1 equipo búlgaro, 2 equipos daneses, 1 equipo eslovaco, 11 equipos españoles, 1 equipo finés, 42 equipos franceses, 2 equipos griegos, 11 equipos holandeses, 4 equipos húngaros, 8 equipos italianos, 1 equipo luxemburgués, 11 equipos marroquíes, 5 equipos polacos, 5 equipos portugueses, 1 equipo ruso, 3 equipos suecos, 1 equipo suizo, 9 equipos turcos y 1 equipo ucraniano; siendo los ganadores en esta categoría:

Categoría Prototipo:

- Gasolina: Microjoule-La Joliverie (Francia) con 2980,3 km/l [88].
- Sustituto gasolina: Toulouse Ingénierie Multidisciplinaire (Francia) con 2846,2 km/l [91].
- Diesel: GMP Valenciennes (Francia) con 1236,1 km/l [86].
- Sustituto diesel: ROSES-4-ECO (Países Bajos) con 314,6 km/l [90].

- Hidrogeno: H2A (Países Bajos) con 342,2 km/kWh [89].
- Eléctrico: SCS PASQUET (Francia) con 1224,1 km/kWh [87].

Participaron en la categoría *Urban Concept*: 5 equipos alemanes, 2 equipos austriacos, 4 equipos belgas, 3 equipos británicos, 2 equipos búlgaros, 2 equipos daneses, 2 equipos españoles, 11 equipos franceses, 1 equipo griego, 6 equipos holandeses, 1 equipo húngaro, 4 equipos italianos, 1 equipo marroquí, 1 equipo noruego, 4 equipos polacos, 2 equipos portugueses, 3 equipos suecos, 1 equipo suizo y 5 equipos turcos; siendo los ganadores en esta categoría:

Categoría Urban Concept:

- Gasolina: SKAP (Polonia) con 334,2 km/l [94].
- Sustituto gasolina: DTU Roadrunners (Dinamarca) con 612,3 km/l [96].
- Diesel: Schluckspecht (Alemania) con 315,4 km/l [92].
- Hidrogeno: Polytech Nantes (Francia) con 145,7 km/kWh [95].
- Eléctrico: electricar solution (Francia) con 376,2 km/kWh [93].

1.4. Categorías:

En las tres Shell Eco-marathon que se celebrarán en 2014 en distintas partes del mundo, los equipos participantes se dividen en dos categorías principales: prototipo y Urban Concept, dentro de las cuales se clasifican en función del combustible empleado para su locomoción.

1.4.1. Categoría Prototipo:

Los vehículos participantes en esta categoría son los más eficientes de todos, son muy ligeros en muchos casos el prototipo vacío no llega a los 50 kg, suelen tener tres ruedas, muchos de ellos son cerrados con el piloto en su interior, su velocidad suele ser del orden de los 30 km/h, suelen tener una forma muy aerodinámica y el piloto suele ir tumbado. En la Figura 1.4 se puede apreciar un prototipo participante en la edición de 2012 de la Shell Eco-marathon Europe.

Las fuentes de energía permitidas para esta categoría son: Gasolina sin plomo 95, Gasoil (Diesel), GLP/GTL, FAME (Fatty Acid Methyl Ester), Etanol e Hidrogeno [97].



Figura 1.4. Prototipo participante en la Shell Eco-marathon Europe 2012 [85].

1.4.2. Categoría Urban Concept:

Los vehículos participantes en esta categoría son un intento de mostrar como vehículos cercanos a lo que podemos encontrar en la calle pueden ser bastante eficientes, una idea muy similar a la de las primeras competiciones que dieron lugar a la Shell Eco-marathon. Estos vehículos tienen que tener cuatro ruedas, puertas, maletero, el piloto tiene que ir sentado como en un coche de calle, deben disponer de faros delanteros y traseros, etc. En la Figura 1.5 se puede apreciar un *Urban Concept* participante en la edición de 2012 de la Shell Eco-marathon Europe.



Figura 1.5. Urban Concept participante en la Shell Eco-marathon Europe 2012 [85].

Las fuentes de energía permitidas para esta categoría son: Gasolina sin plomo 95, Gasoil (Diesel), GLP/GTL, FAME (Fatty Acid Methyl Ester), Etanol e Hidrogeno [97].

1.5. Equipo Shell Eco-marathon UC3M:

Como la Shell Eco-marathon estimula la investigación en distintos ámbitos relacionados con el automóvil se decidió crear en la universidad el equipo Shell Eco-marathon UC3M para participar en la categoría de prototipos de la Shell Eco-marathon Europe [5] y que actualmente forma parte de la asociación Escudería UC3M.



2. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto fin de carrera es la realización del diseño de la estructura de un prototipo destinado a participar en la competición Shell Eco-marathon Europe.

Además se han planteado una serie de objetivos secundarios que se enumeran a continuación:

- El diseño se debe realizar con materiales ligeros y económicos.
- El diseño obtenido debe ser fácil de realizar y de transportar.
- El mallado del modelo de elementos finitos, debe ser poco sensible a las características constructivas del mismo, para eliminar en lo posible la influencia del modelo en los valores obtenidos en la simulación.



3. Metodología

Para la consecución de los objetivos del presente documento se ha seguido la siguiente metodología:

Inicialmente se determinó el material más adecuado para cumplir los objetivos del documento. En base al carenado del prototipo y a la postura del piloto se plantearon distintos diseños preliminares para la estructura, eligiéndose tres de ellos. Se realizó un modelo de elementos finitos con el programa ANSYS para los diseños seleccionados a fin de determinar cual de ellos es el mejor para el prototipo. Se sometió a cada estructura a múltiples ensayos que representan los ensayos de homologación del vehículo para participar en la competición recogidos en la normativa y algunos ensayos que no se corresponden a ninguno de los recogidos en la normativa, pero que a juicio del autor de este proyecto son importantes para el correcto funcionamiento de la estructura del prototipo. Modificándose los diseños en base a la superación de los ensayos anteriormente mencionados. Una vez obtenidos los diseños que superan todos los ensayos se procede a compararlos a fin de determinar cual de ellos es el más adecuado para la fabricación del bastidor del prototipo.



4. Normativa de la Shell Eco-marathon

Una vez analizada la normativa de la competición [97], que se recoge completa en el anexo I, se encuentra que múltiples artículos afectan al diseño de la estructura del prototipo o a elementos que interaccionarán con esta como son el asiento, el piloto, los frenos, etc. A continuación, se enumeran los fragmentos de dichos artículos que son de interés para la realización del presente proyecto:

Artículo 2:

Para cada inscripción se debe designar un director de equipo, un piloto y un piloto reserva.

Los criterios de elegibilidad de los pilotos se recogen el capítulo II de la normativa. Un piloto no puede ser el conductor o el piloto reserva de otro vehículo.

Un piloto reserva puede serlo de dos vehículos, durante la competición solo puede conducir uno de ellos.

Artículo 16:

El uso de comunicadores de mano está prohibido en el vehículo. El uso de “manos libres” está permitido mientras el piloto mantenga las manos en el sistema de dirección.

Artículo 17:

Los pilotos deben dejar paso libre a los competidores que deseen adelantarlos.

El piloto que adelanta debe tocar la bocina y pasar con precaución. Importante: El piloto que adelanta es responsable de la seguridad de la maniobra.

El piloto adelantado debe usar los espejos y no debe cambiar bruscamente de dirección.

Artículo 20:

Los pilotos de los prototipos deben pesar como mínimo 50 kg con la equipación completa, incluido el comunicador, antes de iniciar el intento. En caso de no llegarse a este mínimo se debe fijar lastre, por el peso que falte, en el prototipo. Dicho lastre debe ser suministrado por el equipo y debe estar sujeto de forma que no afecte al piloto en caso de vuelco o de colisión. Debe de ser fácilmente desmontable para su pesado.

El piloto y el lastre serán pesados antes y después de cada intento. Se admite una pérdida de peso de 1 kg.

Artículo 21:

Para los entrenamientos y la carrera, los pilotos deben llevar un casco tipo motocicleta o competición que cumpla con los requerimientos de seguridad recogidos en el capítulo II de esta normativa. La etiqueta del casco debe de ser perfectamente legible. Los cascos compartidos por el piloto y el piloto reserva serán sujetos a inspección.

Solo están permitidos cascos integrales o tres cuartos. Generalmente estos cascos llevan visera, lo que es altamente recomendable. Si no se usase la visera es obligatorio el uso de gafas de seguridad. Los cascos deben fijarse correctamente a los pilotos, otros cascos no serán aprobados para la prueba.

Artículo 22:

Los pilotos deben llevar ropa de competición en la capa exterior de la ropa (altamente recomendable el uso de ropa retardante de la llama).

Se requiere que el piloto lleve guantes y zapatos, que debe suministrar el equipo.

Artículo 23:

Tener en cuenta de que en caso de altas temperaturas su efecto se potencia en el interior del habitáculo, afectando a la comodidad del piloto y/o causando stress térmico.

Es recomendable tener una ventilación adecuada en el interior del vehículo.

Es recomendable proveer al piloto de líquidos. Dichos líquidos se pueden llevar en bolsas tipo camel-bag o botellas de seguridad.

Es recomendable disponer de una protección efectiva del sol.

La organización se reserva el derecho a restringir el tiempo de conducción.

Artículo 25:

Durante el diseño y construcción del vehículo, así como en la planificación de la competición, los equipos deben prestar particular atención a todos los aspectos de la seguridad.

-Los prototipos pueden tener 3 ó 4 ruedas, en condiciones normales todas ellas deben de estar en contacto permanente con la pista.

Los apéndices aerodinámicos, ajustables o que se modifiquen por la presión del aire del vehículo en movimiento están prohibidos.

Los vehículos no deben tener en el exterior elementos que puedan ser peligrosos para otros equipos. Cualquier saliente debe de tener un radio de 5 cm o ser de un material deformable.

El interior del vehículo no debe contener objetos que puedan dañar al piloto en caso de colisión.

Las ventanas no deben realizarse en un material que se astille.

Cualquier recubrimiento del vano motor debe de ser fácil de abrir para una rápida inspección de acceso.

Todos los elementos de la tracción deben de estar confinados en el interior del carenado del vehículo.

Todos los objetos deben estar anclados de forma segura.

Artículo 26:

Los equipos deben asegurarse de que el chasis o monocasco del vehículo es sólido.

El chasis del vehículo debe disponer de un arco de seguridad efectivo situado 5 cm alrededor del casco del piloto en la posición de circulación con los cinturones de seguridad tensados. Así como alrededor de los hombros del piloto.

El chasis o el monocasco del vehículo deben proteger adecuadamente al piloto en caso de colisión frontal o lateral.

Cualquier arco de seguridad debe soportar sin deformarse una carga estática de 700 N (aproximadamente 70 kg) aplicada en dirección vertical, horizontal o perpendicular.

El chasis o monocasco del vehículo debe ser suficientemente amplio para proteger el cuerpo del piloto en caso de colisión frontal o lateral.

Artículo 27:

Una mampara ignífuga fija debe separar completamente el habitáculo del vano motor.

La mampara debe prevenir el acceso manual al vano motor por parte del piloto.

Artículo 28:

El piloto debe tener acceso directo a un arco de visión de 90° a cada lado del eje longitudinal del vehículo. Este arco de visión debe obtenerse sin ayuda óptica o electrónica como espejos, prismas, periscopios, etc. El movimiento de la cabeza del piloto en el interior del vehículo debe permitir alcanzar este arco de visión.

El vehículo debe estar equipado con un espejo retrovisor en cada lado del vehículo con una superficie mínima de 25 cm². La visibilidad obtenida por estos espejos, y sus accesorios, pueden ser inspeccionados. Ningún elemento electrónico puede reemplazar al espejo retrovisor.

Un inspector verificará la visibilidad de cada uno de los vehículos a fin de asegurar una prueba segura. Este inspector verificará la buena visibilidad con bloque de 60 cm dispuestos cada 30° en semicírculo de 4 m de radio desde el frontal del vehículo.

Artículo 29:

El piloto debe de estar sujeto al asiento con unos efectivos cinturones de seguridad de al menos cinco puntos.

Los cinturones deben de estar montados de forma que se evite el deslizamiento del piloto bajo ellos.

Los 5 cinturones independientes deben de estar firmemente anclados a la estructura del prototipo y deben cerrarse con una sola hebilla diseñada específicamente para este fin.

Los cinturones deben de estar cerrados durante todo el tiempo que el vehículo esté en movimiento.

Los cinturones de seguridad serán evaluados durante la inspección técnica. Los cinturones de los prototipos se analizaran colgando de los cinturones al vehículo con el piloto en su interior.

Los cinturones de seguridad deben soportar como mínimo una fuerza de 1,5 veces el peso del piloto.

Artículo 30:

Es obligatorio que los pilotos con los cinturones abrochados sean capaces de salir del vehículo sin asistencia en menos de 10 segundos.

Los prototipos de carenado cerrado deben disponer de una puerta suficientemente grande para el piloto. La posición del piloto debe diseñarse de forma que los servicios de emergencia puedan extraer fácilmente al piloto del vehículo en caso necesario.

Los prototipos deben disponer de mecanismos de apertura de la puerta fácilmente operables desde el interior y el exterior, el cual debe estar indicado claramente con una flecha roja, sin emplear herramientas.

Está prohibido usar cinta adhesiva para cerrar la tapa del piloto desde el exterior.

Artículo 31:

Cada vehículo debe estar equipado con una bocina eléctrica montada hacia la parte frontal del vehículo, de forma que sea audible de forma efectiva por los otros vehículos participantes y por los comisarios. Con el vehículo en condiciones de circulación, debe emitir un sonido superior a los 85 dBA medidos horizontalmente 4 m delante del vehículo.

La bocina debe tener un tono alto igual o mayor a los 420 Hz.

La bocina debe tener una capacidad/volumen de ruido mayor a los 110 dBA.

Artículo 32:

Cada vehículo debe disponer de un extintor (ABC o BC). Todos los pilotos deben de estar entrenados en el uso de extintores. Los extintores deben tener una capacidad mínima de 1 kg. Deben de estar completamente llenos y tener un certificado del fabricante en el que se incluya la referencia del fabricante y la fecha de fabricación o de caducidad.

El extintor debe colocarse en el vano motor y descargar en el mismo. El sistema de mando debe de estar colocado en el habitáculo y ser operable por el piloto en su posición normal de conducción.

Los extintores de mano deben de estar localizados en el habitáculo y ser accesibles al piloto una vez ha abandonado el vehículo. Deben de estar sujetos de forma que no se desplacen durante la conducción o el frenado. En caso de fuego, los pilotos deben abandonar el vehículo y si fuese posible, coger el extintor e intentar de forma segura extinguir el incendio.

El extintor a bordo no puede sustituir la necesidad de disponer de un extintor en el garaje del equipo.

Artículo 33:

Por razones de seguridad, la posición de conducción cabeza adelante está prohibida.

Artículo 34:

Todos los vehículos de combustión interna deben de estar equipados con un embrague.

En los embragues centrífugos o automáticos el ralentí del motor debe de ser inferior a las revoluciones necesarias para el acople del embrague.

Para los embragues manuales el motor no debe de arrancar con el embrague sin embragar. Se requiere un bloqueo para facilitar dicho funcionamiento.

Es obligatorio disponer de una protección efectiva de la cadena o correa de transmisión.

Artículo 37:

Un cortacorrientes de emergencia, operable tanto desde el interior o el exterior, debe ser instalado en todos los vehículos en una parte no desmontable del vehículo. Una flecha roja de 10 cm por 3 cm como mínimo debe indicar claramente la posición del cortacorrientes. Este sistema debe parar el motor.

Artículo 39:

La altura máxima debe ser menor de 100 cm.

La altura máxima medida en el punto más alto del habitáculo del piloto debe de ser menor a 1,5 veces el ancho mayor medido entre las dos ruedas más exteriores.

La vía debe ser mayor de 50 cm entre los puntos medios de las huellas de los neumáticos.

La batalla debe de ser mayor de 100 cm.

El ancho total del vehículo no debe superar 130 cm.

La longitud total del vehículo no debe superar los 350 cm.

El peso máximo del vehículo sin conductor es de 140 kg.

Artículo 41:

Todos los tipos de neumáticos y llantas están permitidos.

Cualquier tipo de llanta puede ser usado. Las llantas deben de ser compatibles con las dimensiones de los neumáticos seleccionados a fin de satisfacer los requisitos de seguridad.

Las ruedas localizadas en el interior del habitáculo deben separarse del piloto mediante una mampara.

Cualquier manipulación de las ruedas por el piloto entre la salida y la llegada de la carrera está prohibida.

La instalación debe realizarse de forma que no se produzca ningún contacto entre las ruedas y otras partes del vehículo. Se debe tener la seguridad de que durante el giro de las ruedas durante la conducción no se produzcan interferencias y cause accidentes.

Artículo 42:

Dirección delantera y trasera están permitidas. Si la dirección es trasera debe de ser fácil para el piloto determinar la localización de la dirección recta. Si los organizadores no están satisfechos con la efectividad y/o el control de la dirección de un vehículo, pueden excluirlo de la competición.

El radio de giro debe de ser suficiente para realizar los adelantamientos con seguridad así como negociar las curvas del trazado. Si los organizadores sospechan que el radio de giro de un vehículo es insuficiente para el trazado, este vehículo puede ser requerido para que realice una prueba de slalom.

La prueba de slalom requiere para America y Asia un radio de giro de 6 m, y en Europa un radio de giro de 10 m (en años posteriores se reducirá a 6 m). Esta prueba se realiza a fin de determinar la habilidad del piloto y la precisión de la dirección (holguras y retardos).

No están permitidos los sistemas eléctricos de dirección. Si se usa una dirección electrónica, en caso de fallo, debe volver a la posición recta.

Artículo 43:

Los vehículos deben de estar equipados con dos sistemas independientes de frenado; cada sistema estará compuesto por un sistema de control, por un sistema de transmisión y unos activadores.

Un sistema debe actuar sobre el eje delantero y otro sobre el eje trasero. Se debe emplear un activador por rueda, actuando el sistema de control sobre ambos activadores. Además las fuerzas de frenado por eje deben de estar compensadas.

Debe ser posible activar ambos sistemas de frenos de forma simultánea sin soltar las manos del sistema de dirección. Se recomienda el control por pedal.

La efectividad del sistema de frenado será comprobada durante la inspección del vehículo, El vehículo se colocará en una rampa del 20%. Los frenos se activaran por turnos. Cada sistema debe mantener el coche inmovilizado.

El uso de sistemas de control hidráulico es muy recomendable.



5. Estructuras en vehículos

5.1. *Introducción:*

Desde la antigüedad el ser humano ha desarrollado objetos para facilitar el transporte de personas o de mercancías que han conducido al desarrollo de los vehículos actuales.

Todo vehículo requiere de un elemento que de rigidez y al que se sujeten los distintos sistemas del mismo (dirección, motor, transmisión, suspensión, etc.) así como soporte el peso de los ocupantes y de la carga que debe transportar. A ese elemento se le denomina generalmente bastidor.

Desde la creación del primer vehículo que tenía la capacidad de moverse de forma autónoma, el automóvil de vapor de Cugnot de 1796, pasando por los primeros automóviles del siglo XIX hasta la actualidad los diseños de los bastidores han evolucionado desde la configuración bastidor y carrocería, que aun se emplea en algunos vehículos, hasta las carrocerías autoportantes de la mayor parte de los vehículos que se fabrican en la actualidad [9] [18] [34] [38].

5.2. *Clasificación de las principales estructuras de vehículos.*

Las estructuras empleadas por los vehículos automóviles se pueden clasificar en función de si la carrocería realiza además las funciones del bastidor o la carrocería y el bastidor son dos elementos independientes. En el primer tipo se engloban las carrocerías autoportantes y los monocascos; y

en el segundo se incluyen los bastidores de largueros, los bastidores plataforma, los bastidores tubulares y los bastidores de tubo central.

Históricamente, los primeros vehículos tomaron el bastidor de los carruajes, que estaba formado por largueros y travesaños. Posteriormente, en los años 20, se desarrollaron los primeros vehículos de carrocería autoportante, diseño que se adoptó en Europa después de la segunda guerra mundial y que en Estados Unidos derivó en los sistemas de bastidor plataforma. Por otro lado, en los ámbitos deportivos y en la producción de vehículos de series reducidas se han desarrollado bastidores tubulares, bastidores de tubo central y monocasco [9] [18] [34] [38] [40].

5.2.1. *Bastidor de largueros.*

El origen del bastidor de largueros o en escalera se remonta a la época romana, aunque en la Iliada y en textos egipcios más antiguos se menciona el uso de carros de caballos. El remontarse a la aparición de los primeros carros de caballos es debido a que los primeros automóviles emplearon las formas constructivas de los carruajes al ser la sustitución de la tracción animal por la tracción mecánica un paso más en la evolución de los carruajes como había sido la introducción de la suspensión por ballestas. Hasta los años 20 se emplearon en los automóviles bastidores realizados en madera, siendo entonces cuando se empieza a generalizar el acero en la construcción de los bastidores.

Básicamente, un bastidor de largueros se compone de dos largueros que van desde el parachoques delantero al parachoques trasero, unidos entre sí por una serie de travesaños. A los largueros se les sujeta la carrocería, el motor, la suspensión, la dirección y demás sistemas, de tal forma que un bastidor de largueros puede moverse sin carrocería. La unión entre el bastidor y la carrocería se suele realizar mediante tornillos con juntas elásticas.

A lo largo de la historia la forma de dos largueros rectos y travesaños rectos ha ido modificándose dando lugar a distintas formas de bastidores. Al rebajar la altura de los automóviles, por razones de estabilidad, fue necesario pasar los largueros de vigas rectas a formas que permitiesen una menor altura libre y un adecuado recorrido de suspensiones. Para aumentar la rigidez del conjunto se añadieron refuerzos en X entre los largueros, se modificó la forma de los travesaños y los largueros. A mediados del siglo XX se buscó la forma de obtener un piso lo más bajo

posible, para ello se emplearon dos soluciones diametralmente opuestas, la primera fue desplazar los largueros al perímetro de la carrocería (bastidor perimetral) y la segunda fue unir los largueros en el centro del vehículo creando una forma de X (bastidor en X).

En la actualidad el bastidor de largueros independiente de la carrocería ha quedado relegado a un uso minoritario, usándose solo para camiones, vehículos comerciales e industriales, autobuses y todoterrenos puros. Siendo todos ellos similares al bastidor representado en la Figura 5.1, correspondiente a un todoterreno Land Rover serie III (1971-1985) [9] [18] [34] [38].



Figura 5.1. Representación del bastidor de largueros de un Land Rover serie III [63] y del vehículo completo [103].

5.2.2. Carrocería autoportante.

En 1922 aparece el primer automóvil con carrocería autoportante, el Lancia Lambda. El bastidor de este vehículo consistía en una serie de láminas de acero remachadas que hacía también las funciones de carrocería como se puede apreciar en la imagen de la izquierda de la Figura 5.2, siendo la carrocería una serie de paneles que se sujetaban sobre el bastidor como se puede apreciar comparando las dos imágenes de la Figura 5.2.

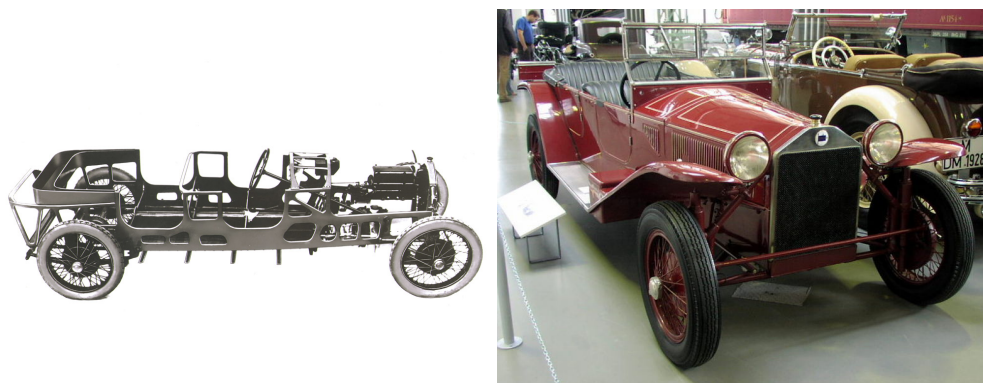


Figura 5.2. Representación de la carrocería autoportante de un Lancia Lambda [60] y del automóvil completo [59].

Años después, en 1934 Citroën lanza el Traction Avant, que será más conocido por sus motorizaciones 11cv y 15cv, el primer automóvil con carrocería autoportante cerrada y tracción delantera como la mayor parte de los vehículos que se fabrican actualmente. La carrocería del Traction Avant se construía mediante la soldadura de distintas piezas, siendo piezas sueltas las aletas, las puertas, el capó delantero y la tapa del maletero como se observa en la Figura 5.3.

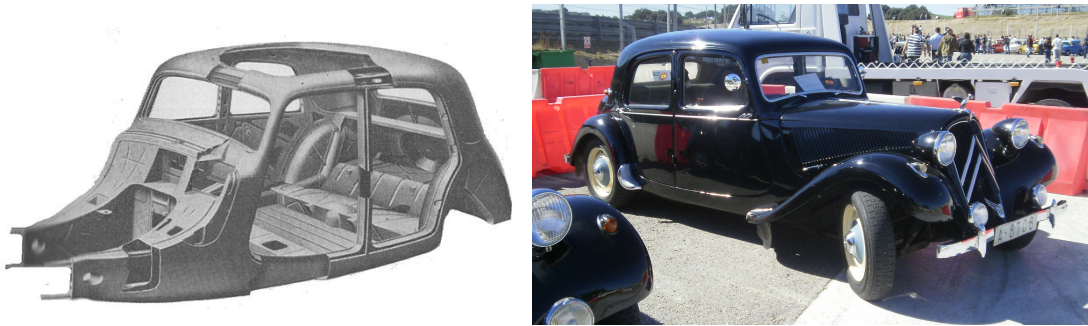


Figura 5.3. Representación de la carrocería autoportante de un Citroën Traction Avant [48] y del vehículo completo.

Una carrocería autoportante como se ha podido apreciar en los primeros vehículos que las montaron está formada por una serie de chapas metálicas unidas mediante soldadura o remachado, presentando las siguientes ventajas:

- *Mayor rigidez de la estructura:* Al pasar la carrocería a tener comportamiento estructural se consigue aumentar la rigidez a torsión de la carrocería mejorando el comportamiento dinámico del vehículo.
- *Mejora de la habitabilidad:* Al ser la propia carrocería la que da rigidez al vehículo es posible distribuir los elementos de forma que se obtenga una mayor habitabilidad sin perder rigidez.
- *Mayor seguridad en caso de colisión:* Al ser más sencillo crear zonas de deformación controlada en las carrocerías autoportantes que en un bastidor de largueros sin afectar a la rigidez del habitáculo.
- *Menor coste de fabricación:* Debido a un mejor aprovechamiento del material, a una reducción de las operaciones manuales y la automatización de la fabricación.
- *Mejor comportamiento dinámico:* Por muchas de las razones anteriores y por la reducción de la altura del centro de gravedad.

El empleo de carrocerías autoportantes también presenta una serie de desventajas frente al bastidor de largueros siendo las más importantes:

- *Incremento del ruido de la transmisión:* En el caso de los vehículos de tracción trasera al pasar la transmisión de estar sujeta al bastidor a estar sujeta directamente a la carrocería en la zona del túnel de la transmisión se produce un incremento de la sonoridad de la misma. Para ello se han rigidizado ciertas zonas y se han empleado materiales de aislamiento acústico. En el caso de los vehículos tracción delantera con motor transversal las zonas en las que se realizan dichas actuaciones son en el panel que separa el vano motor del habitáculo.
- *Menor resistencia a la corrosión:* Al emplearse chapas de pequeño espesor, se utilizan en su fabricación procesos que tienden a dejar tensiones residuales y presentar lugares de difícil acceso en los que se puede concentrar la humedad donde es muy posible que se inicie la corrosión. Además al ser la carrocería la que soporta las cargas del vehículo la corrosión de la misma conduce a una reducción de la resistencia de la carrocería y al fallo estructural de la misma. Situación que es más difícil que se produzca en un bastidor de largueros ya que se emplean vigas de mayor espesor y no se generan tantos lugares inaccesibles. Para reducir este riesgo, a las modernas carrocerías autoportantes se les aplican una serie de tratamientos anticorrosión y de preservación de la humedad durante su fabricación y pintado.

En la actualidad la mayor parte de los automóviles se fabrican con carrocería autoportante, incluso algunos todoterrenos están empezando a usar carrocería autoportante con largueros de refuerzo que mejoran su comportamiento fuera de carretera. Como se puede apreciar en la Figura 5.4, las carrocerías autoportantes actuales son semejantes a las de los primeros vehículos que las montaron aunque con formas mucho más complejas [9] [18] [34] [38].



Figura 5.4. Representación de la carrocería autoportante de un Smart [3] y del vehículo completo [47].

5.2.3. Bastidor plataforma.

El bastidor plataforma es una configuración intermedia entre el bastidor de largueros y la carrocería autoportante ya que en este caso el bastidor está formado por una serie de chapas que actúan de piso del vehículo como se puede observar en el caso del Renault 4 cuya plataforma se muestra en la Figura 5.5.



Figura 5.5. Representación del bastidor plataforma de un Renault 4 [102] y del vehículo completo.

El primer vehículo que empleó esta configuración fue el Volkswagen de 1938 conocido como “escarabajo”. La plataforma empleada en el Volkswagen difiere de la plataforma del Renault 4 en la presencia de un larguero central en el que se sitúa la palanca de cambios y en el que se sujeta el pedalier como se puede apreciar en la Figura 5.6.



Figura 5.6. Representación del bastidor plataforma de un Volkswagen “escarabajo” [12] y del vehículo completo.

Una de las principales ventajas del empleo de un bastidor plataforma es la posibilidad de montar distintas carrocerías. En el caso del Volkswagen, durante la II Guerra Mundial, esta plataforma se

empleó en distintos vehículos militares. Posteriormente se empleó esta plataforma en la Volkswagen Transporter (Tipo 2), el Karman Ghia y el Tipo 3 entre otros. Además, empresas independientes a Volkswagen, como Meyers Manx, aprovecharon esta característica para la creación de los famosos buggies y otras variantes del “escarabajo”.

En la actualidad los bastidores plataforma han pasado a ser parte de las carrocerías autoportantes usándose como base para la construcción de la carrocería autoportante siendo uniones soldadas las que ahora unen la plataforma con la carrocería. [18] [38].

5.2.4. Bastidor tubular.

El carrocer italiano Touring creó en 1937 el primer bastidor tubular. Un bastidor tubular se basa en el empleo de barras creando triángulos a semejanza de las estructuras metálicas empleadas en la construcción de puentes y edificios, siendo un ejemplo de dichas estructuras la Torre Eiffel. Con ello se consigue que las barras se comporten a tracción compresión mientras el bastidor es sometido a las cargas debidas a la circulación. Los bastidores tubulares más modernos están realizados con distintas subestructuras de diferentes rigideces que en caso de impacto se deforman absorbiendo parte de la energía generada. Sus principales ventajas son:

- *Alta eficiencia:* Debida a su gran resistencia a la torsión y a la flexión, junto a su bajo peso.
- *Alta durabilidad:* Consecuencia de que todas las cargas en las barras son axiales (tracción-compresión).
- *Resistencia a impactos y deformación progresiva:* Esta ventaja solo se presenta en los bastidores tubulares más modernos realizados mediante subestructuras y es consecuencia directa de este tipo de diseño.
- *Empleo de materiales baratos:* Al realizarse la mayor parte de los bastidores tubulares en acero los costes del material son reducidos.

Los inconvenientes que presentan los bastidores tubulares son:

- *Costes de fabricación altos:* Debidos al elevado número de uniones soldadas que hay que realizar, a la difícil automatización de su fabricación y al tiempo empleado en su fabricación.

- *Costes de diseño altos:* Debidos a la cantidad de parámetros a tener en cuenta y al tiempo invertido en determinar la posición más adecuada de cada barra para que realice de la mejor forma posible su trabajo.
- *Dificultad de acceso a algunos componentes:* Consecuencia de la necesidad de poner barras triangulando las distintas zonas del bastidor para resistir las cargas que el motor y la suspensión producen sobre el bastidor.
- *Corrosión en el interior de los tubos:* Si no se realiza un correcto sellado del interior de los tubos se puede condensar agua en su interior e iniciar un proceso corrosivo que conduzca al fallo del bastidor como en el caso de las carrocerías autoportantes. La solución actual es el uso de espumas que rellenan los tubos y evitan la condensación de agua en su interior.

Los bastidores tubulares se han empleado fundamentalmente en la construcción de vehículos deportivos, ya que como se menciona en las ventajas son bastidores con una muy buena relación peso-resistencia y en estos casos se prima obtener el mínimo peso. En la actualidad, son la forma económica, comparado con los monocascos de material compuesto, de construir un bastidor resistente, fácil de reparar y ligero. En la Figura 5.7 se puede apreciar el bastidor tubular de un Jaguar Type C también conocido como XK 120C con barras de distinto tamaño [34] [40].

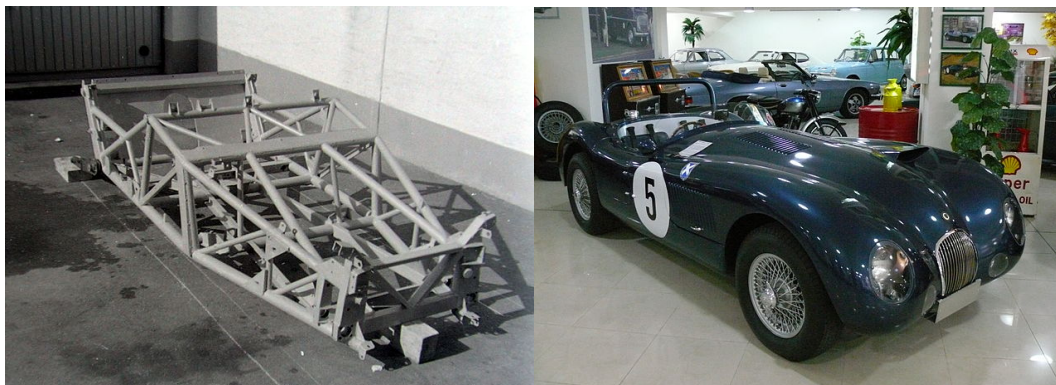


Figura 5.7. Representación del bastidor tubular del Jaguar Type C (XK120C) [44] y del vehículo completo [49].

5.2.5. Bastidor de tubo central.

En 1923 Tatra diseña el primer vehículo con bastidor de tubo central, el Tatra 11. Como se observa en la Figura 5.8 el motor y la transmisión actuaban de bastidor, en concreto el bastidor consistía en un tubo rígido que unía la caja de cambios con el diferencial.



Figura 5.8. Representación del bastidor de tubo central del Tatra 11 [51] y del vehículo completo [32].

Posteriormente, en los años 30 Mercedes-Benz empleó este tipo de bastidor en los modelos 120H, 150H y 170H montando el motor en el puente trasero. En esa misma época Škoda también empleó este chasis en el modelo 420 Popular. Desde entonces el uso de bastidores de tubo central a quedado reducido a la marca Tatra, tanto para automóviles como para camiones, y a distintos vehículos deportivos entre los que se puede destacar el Renault Alpine A110, fabricado en España, que en la Figura 5.9 se puede apreciar el bastidor de este modelo junto a su carrocería de fibra de vidrio.



Figura 5.9. Representación del bastidor de tubo central del Renault Alpine A110 [1] y del vehículo completo [53].

Como se mencionó anteriormente Tatra es uno de los pocos fabricantes que emplea este tipo de bastidor. Esto es debido a que un bastidor de tubo central tiene un buen comportamiento en vehículos todoterreno siendo sus principales características:

- *Buen comportamiento en terrenos irregulares:* A consecuencia de la disposición de las ruedas es en terrenos accidentados suelen permanecer más tiempo en contacto con el terreno que con otros bastidores.

- *Árbol de la transmisión protegido*: Al introducir el árbol de la transmisión dentro del bastidor se protege a este de impactos con el inconveniente de que en caso de deterioro del mismo su sustitución es mucho más compleja.
- *Modularidad en el número de ejes*: Al ser el bastidor un tubo es posible variar el número de ejes sin mucha complejidad técnica.
- *Menor resistencia a torsión*: En comparación con un vehículo autoportante el bastidor de tubo central presenta una menor rigidez. Lo que puede redundar en la vida de la carrocería del vehículo.
- *No protege frente a impactos laterales*: Debido a su configuración en el centro del vehículo la protección frente a impactos laterales debe realizarla la carrocería del vehículo.

En el caso de los deportivos, el empleo de este tipo de bastidores ha sido más por razones de ligereza, el bastidor del Alpine apenas superaba los 30 kg, que por sus buenas características fuera de pista [9] [34].

5.2.6. *Monocasco.*

Finalmente, en el presente proyecto, se emplea el término monocasco para referirnos en exclusiva a las carrocerías autoportantes en las que los esfuerzos son soportados por la superficie exterior de la carrocería, siendo esta lisa y de pequeño espesor.

Esta tipo de carrocerías se empezó a emplear en el mundo de la aviación al permitir eliminar todos los elementos no estructurales del fuselaje sin perder aerodinámica. En los automóviles se ha aplicado en exclusiva a los vehículos de competición, principalmente a los monoplazas.

Las principales ventajas de un monocasco son:

- *Espesores de lámina muy bajos*: Este diseño permite trabajar con espesores de lámina menores de 1 mm.
- *Más eficiente que un chasis tubular*.
- *Posibilidad de empleo de materiales compuestos*: Al ser estructuras sin aristas, de pequeño espesor y de forma más o menos tubular es posible su fabricación empleando materiales compuestos.

Y los inconvenientes del empleo de un monocasco en un vehículo son:

- *Mayor coste de desarrollo:* Es necesario realizar un estudio completo de las tensiones a las que se enfrentará el monocasco y en el caso de fabricarlo en materiales compuestos realizar un análisis de fractura del mismo.
- *Mayor coste de fabricación:* Al emplear materiales compuestos el proceso de fabricación requiere de máquinas especiales y conocimientos muy específicos que provocan que los costes de fabricación de un monocasco sea muy elevados.

En la Figura 5.10 se puede apreciar el monoplaza Arrows A20 de 1999, con el que participó Pedro Martínez de la Rosa en la Formula 1, como ejemplo de un monocasco. En este caso por la normativa de la FIA, reforzado con una célula de seguridad que corresponde al habitáculo del piloto. [34] [40].



Figura 5.10. *Formula 1 Arrows A20 de 1999.*



6. Uniones

6.1. Introducción:

Como se ha visto en el capítulo anterior, los bastidores y las carrocerías de los vehículos se han unido de distintas formas a lo largo de la historia. Por ello, al ser las uniones de los elementos que forman los bastidores o las carrocerías lugares críticos para el correcto funcionamiento de estos, en el presente capítulo se analizan todas las formas posibles en que se puede realizar una unión.

Una unión se compone de dos o más elementos a unir y en muchos casos de un elemento adicional que realiza la unión, como el perno en las uniones atornilladas o el adhesivo en las uniones adhesivas.

Históricamente se han empleado muchos métodos diferentes de unión desde el uso en la antigüedad de adhesivos basados en la pez y la resina, hasta las uniones remachadas empleadas en la construcción de estructuras metálicas como la Torre Eiffel [7] [10] [36] [64] [100].

6.2. Clasificación de las uniones.

En función de los métodos de unión empleados en la realización de la misma, se pueden clasificar en cuatro grandes familias:

- **Unión mediante dispositivos o accesorios:** Empleando ligaduras, juntas, grapas, clavos, tornillos, roblones.

- **Unión mediante adhesivos.**
- **Unión aprovechando procesos físicos:** Soldadura y difusión, con o sin aporte de material.
- **Unión mediante ensamblajes:** Se realizan las piezas que forman la unión de forma que encajen y puedan permanecer solidarias como en el machihembrado que se utiliza en las uniones de maderas.

Además, en función de la duración de la unión se clasifican en uniones fijas o en uniones desmontables. La soldadura, el pegado o unión adhesiva y el remachado son uniones fijas. La consideración de la soldadura como unión fija no necesita ninguna aclaración ya que este método de unión no puede ser desmontado sin dañar las piezas que se han soldado. En cambio en el caso del pegado y el remachado él que no se consideren uniones desmontables como la unión atornillada, en un primer momento puede resultar extraño, aunque hay que tener en cuenta que una unión desmontable es aquella en la que se pueden recuperar sin alteración tanto las piezas elementales que forman la unión como el elemento de unión, circunstancia que no se da en el caso de las uniones adhesivas y remachadas. En la Tabla 6.1 se aprecia la clasificación de los distintos métodos de unión en función de la duración de la unión [7] [10] [36] [64] [100].

Al ser los métodos de unión antes mencionados (soldadura, pegado, remachado y atornillado, representados en la Figura 6.1) los más utilizados en la industria a la hora de realizar uniones se va proceder, en apartados sucesivos, a explicar las características de las uniones realizadas mediante estos métodos, así como los procedimientos de diseño y creación de la unión.

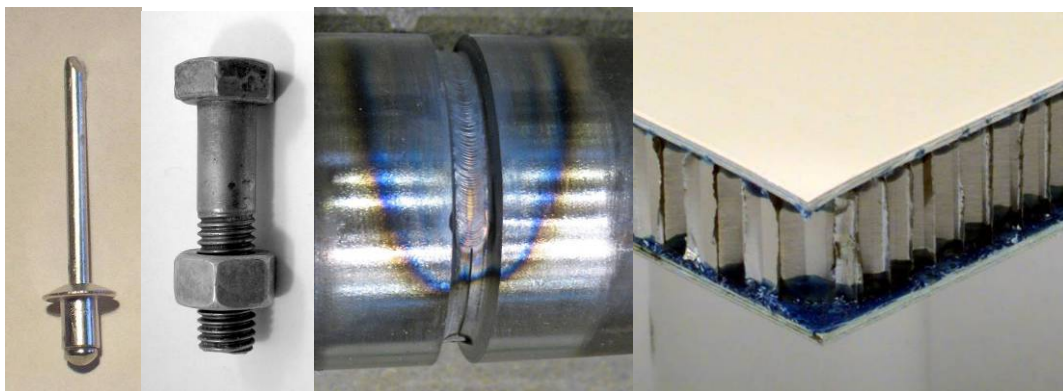


Figura 6.1. Representación de los principales métodos de unión [50][101][113][41].

UNIONES FIJAS	Soldadura	Homogénea	Fusión	Autógena Arco eléctrico Haz de electrones Plasma Láser	Oxiacetileno MIG/TIG/MAG (Atm. inerte) UP (polvo)
			Presión	Resistencia Ultrasonidos Explosión Presión en caliente Fricción Alta frecuencia	
		Heterogénea	Según temperatura	Soldadura fuerte Soldadura blanda	
			Según método	Soldadura A la llama Inmersión Al horno Inducción	
	Pegado				
Remachado					
UNIONES DESMONTABLES	Unión por conformado		Conformado de piezas a unir		Plegado Rebordeado
			Con elementos de unión		Grapado Tuercas de estampación
	Tornillos				
	Otras uniones mecánicas		Chavetas y lengüetas Pasadores Estriados y nervados		
	Guías de deslizamiento				
	Uniones forzadas		Prensadas Por dilatación		
	Uniones por enchufe, aprieto o resorte.				

Tabla 6.1. Clasificación de los métodos de unión en función de la duración y la forma de realización de la unión [7].

6.3. Unión soldada.

Una de las formas más importantes de unión fija es mediante la soldadura como se vio en la Tabla 6.1 del apartado precedente. La soldadura es un proceso que da continuidad física a dos masas metálicas mediante fusión parcial o en estado sólido, con o sin aporte de material. Esta forma de unión se aplica a metales y mediante unos procedimientos específicos, que no se van a considerar en este documento, a algunos polímeros.

Al realizar el proceso de soldadura de dos metales se pueden producir los siguientes efectos: Fusión-solidificación; Reacciones químicas gas-líquido (absorción de gas, oxidación); Reacciones líquido-sólido; Precipitación de fases; Disolución de fases, un material se disuelve en el otro; Reacciones en estado sólido; Crecimiento de grano; Transformaciones alotrópicas; Recristalización.

La aparición de estos cambios está influida por: Nivel de calentamiento alcanzado; Composición de los materiales; Temperatura de fusión; Propiedades eléctricas y térmicas; Afinidad del metal fundido por O, N e H; Presencia de óxidos, recubrimientos o pinturas en la superficie del material base; Ambiente en el que se realiza; Tiempo a una determinada temperatura; Velocidad de enfriamiento; Diseño de la unión y Procesado termomecánico previo.

Al realizar una soldadura se obtiene una estructura característica en los alrededores de la misma ya que como se aprecia en la Figura 6.2 existe una zona del metal base que no ha llegado a fundirse en el proceso de soldeo, pero que si ha resultado afectada por el calor. Dicha zona tiene el nombre ZAC (zona afectada por el calor), HAZ por sus siglas en inglés y otras variaciones sobre la misma terminología. Esta zona es importante debido a que al haber estado a mayor temperatura que el material base se pueden encontrar en dicha zona alteraciones de la microestructura del material base que puede conducir a una reducción de las propiedades del material base y condicionar la unión soldada. En la Figura 6.3 se puede apreciar la evolución de la ZAC a lo largo del tiempo [36] [42] [64].

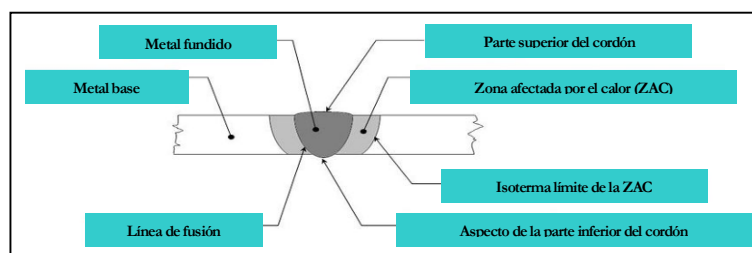


Figura 6.2. Representación de las distintas zonas presentes en el proceso de soldeo (metal fundido, ZAC y metal base) [31].

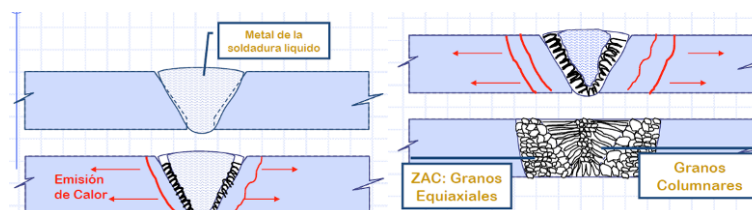


Figura 6.3. Evolución de la ZAC a lo largo del tiempo [26].

6.3.1. Diseño de la unión soldada:

Los factores básicos para la determinar el tipo de soldadura a emplear son: tipo de metal a soldar, precio, naturaleza de los productos a fabricar y técnicas utilizadas en la producción. Al realizar una

soldadura se presenta normalmente uno de los siguientes tipos de unión: unión a tope, unión en ángulo interior, unión a solape, unión en ángulo exterior o unión sobre cantos. En la Figura 6.4 se puede ver una representación de cada uno de los tipos de unión [36] [42] [64].

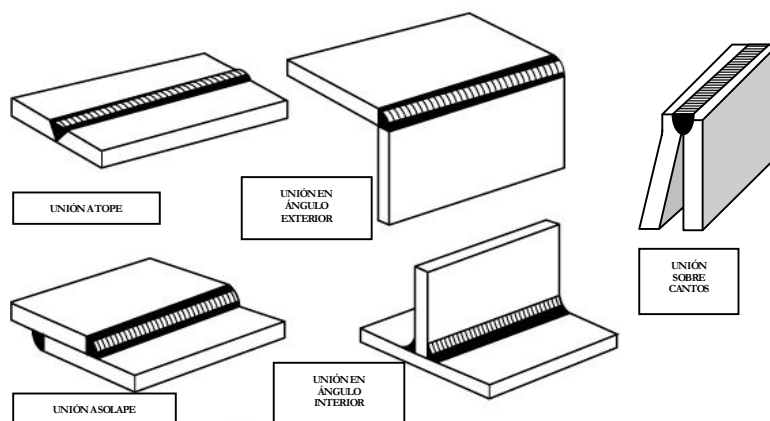


Figura 6.4. Tipos básicos de uniones [104].

6.3.2. Posiciones de soldeo:

En la realización de una soldadura se debe tener en cuenta la posición en la que se realizará dicha soldadura. Una soldadura, básicamente, solo se realiza en las cuatro posiciones de soldeo que se recogen en la Tabla 6.2, en la Figura 6.5 y en la Figura 6.6.

Posición	Referencia en la Figura 6.6	Inclinación de ejes	Rotación de la cara	Dificultad de realización
Plana	A	0° a 15°	150° a 210°	Baja
Horizontal	B	0° a 15°	80° a 150° 210° a 280°	Baja
Bajo techo	C	0° a 80°	0° a 80° 280° a 360°	Alta
Vertical	D E	15° a 80° 80° a 90°	80° a 280° 0° a 360°	Alta

Tabla 6.2. Posiciones de realización de una soldadura [28].

Las posiciones horizontal y plana son las más fáciles de realizar e incluso en algunos casos, como la soldadura con flux, son las únicas posiciones en las que se puede emplear dicha técnica. Por ello hay que intentar que la mayor parte de las soldaduras que haya que realizar sean en una de estas dos posiciones al existir menos posibilidades de aparición de defectos en la unión al ser las más sencillas de realizar [36] [42] [64].

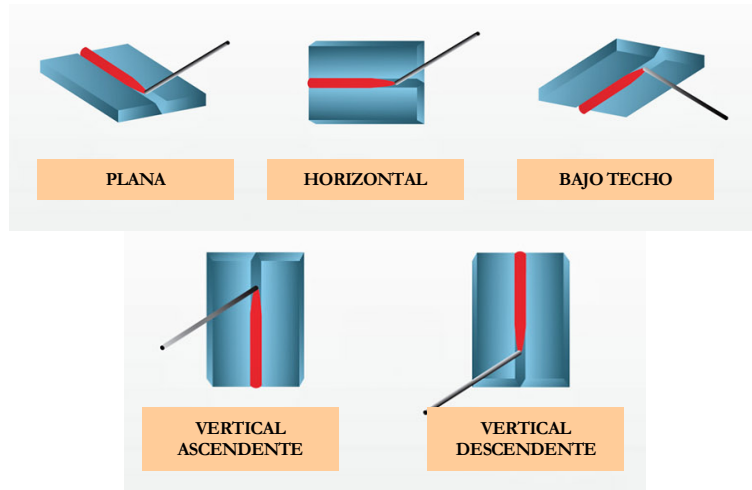


Figura 6.5. Posiciones de realización de una soldadura [21].

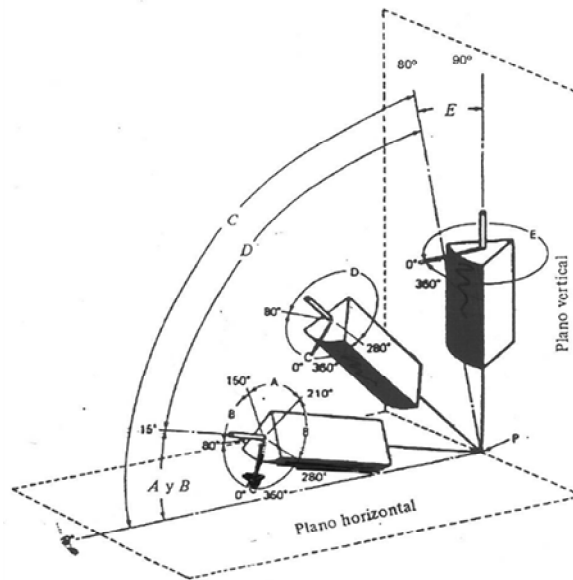


Figura 6.6. Posiciones del soldador para las distintas posiciones de realización de la soldadura [28].

6.3.3. Procedimientos de realización de una unión soldada:

A la hora de realizar una soldadura existen numerosos métodos para ello como se puede apreciar en la clasificación realizada en la Figura 6.7 en función del proceso físico o químico por el que se realiza la misma. A continuación, se explican brevemente los procedimientos de soldadura más empleados en la construcción del bastidor tubular de un vehículo, que son los métodos de fusión por arco eléctrico y fusión por partículas de alta energía [36] [42] [64].

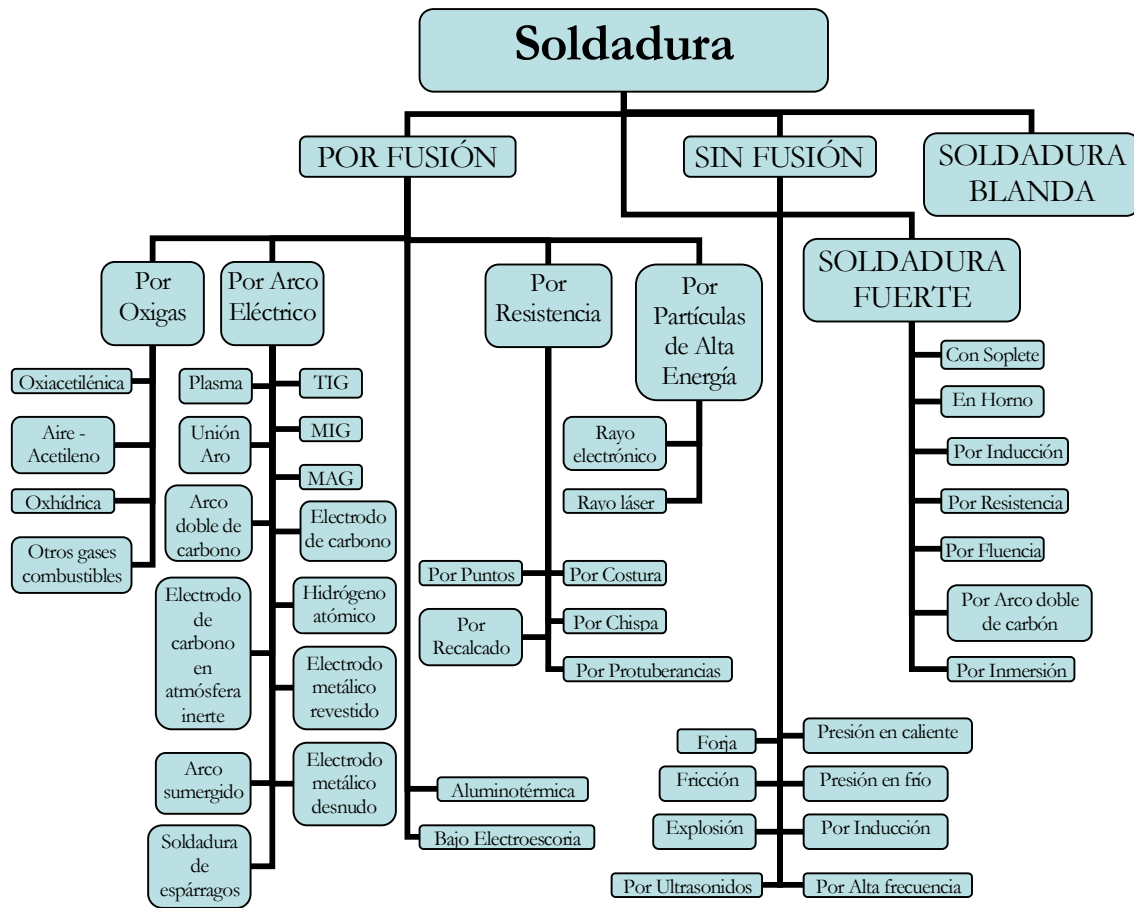


Figura 6.7. Clasificación de los procesos de realización de una unión soldada en función del proceso físico-químico empleado [28].

6.3.4. Soldadura por fusión por arco eléctrico:

La unión se realiza calentando los materiales base y el material de aporte, cuando este es necesario, mediante el salto de una descarga eléctrica entre el electrodo y el material base. Estando conectados a un generador de forma que el circuito eléctrico se cierra mediante la descarga que se produce entre el electrodo y el material base.

Dentro de estos procesos de soldadura se encuentra la soldadura por arco manual, en la que el electrodo es manejado por un operario a lo largo de la línea de la soldadura. La corriente empleada puede ser continua o alterna ya que cada tipo de corriente presenta ventajas e inconvenientes. En la Figura 6.8 se aprecia el proceso de realización de la unión soldada y en la Figura 6.9 se puede apreciar en detalle el proceso de fusión del electrodo así como la creación de una capa protectora de la soldadura con el revestimiento del electrodo.

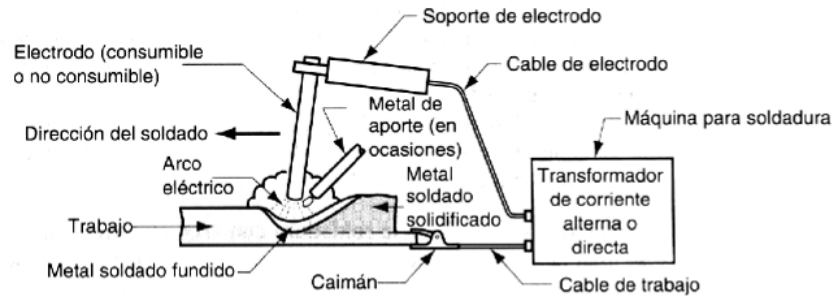


Figura 6.8. Esquema del proceso de realización de la unión soldada [27].

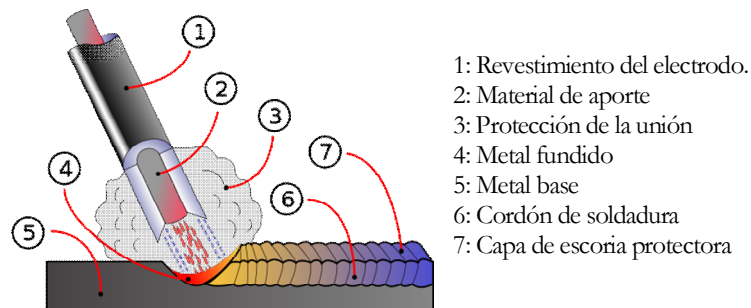


Figura 6.9. Esquema del proceso de formación del cordón de soldadura [58].

La soldadura por arco eléctrico sumergido es otro método empleado industrialmente. En este caso se funde un electrodo continuo protegido por un compuesto denominado flux, que se alimenta por separado al electrodo. En la Figura 6.10 se puede ver la forma de alimentación del flux y el electrodo así como la recogida del flux una vez realizado el cordón de soldadura.

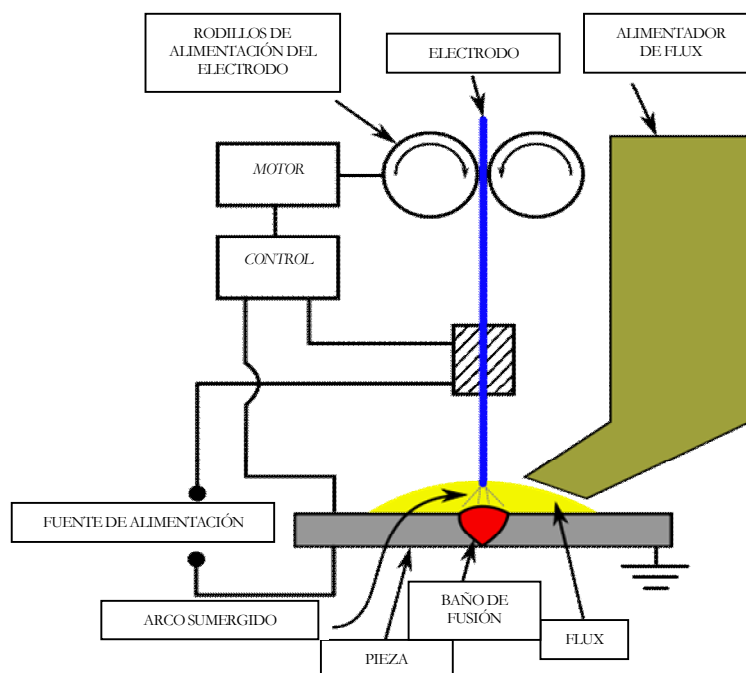


Figura 6.10. Proceso de alimentación de flux en una soldadura por arco sumergido [112].

El tercer método de soldadura por arco eléctrico es la soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible. Su denominación es soldadura MIG-MAG en función si el gas es inerte (MIG) o activo en la soldadura (MAG). En este caso el arco eléctrico se establece entre un electrodo de hilo continuo y la pieza que se quiere soldar. La protección de la soldadura se realiza mediante un gas inerte (procedimiento MIG) o mediante un gas activo (procedimiento MAG). En la Figura 6.11 se puede apreciar una soldadura MIG o MAG y en dicha figura están nombrados los distintos elementos representados.

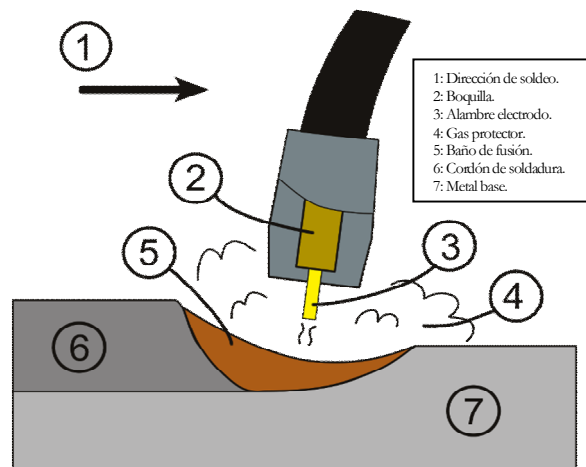


Figura 6.11. Proceso de realización de una soldadura mediante el procedimiento MIG-MAG [78].

Este tipo de soldaduras pueden ser: Semiautomáticas (se regula tensión del arco, velocidad de alimentación del hilo, intensidad de corriente y caudal de gas; moviéndose la pistola de forma manual), Automáticas (además se regula la velocidad de soldadura) y Robotizadas (en las que además se regulan las coordenadas de la posición de la junta).

El último tipo de soldadura por arco, es la soldadura TIG o soldadura por arco bajo gas protector con electrodo no consumible. El arco eléctrico se establece entre un electrodo no consumible de wolframio y la pieza a soldar. La protección de la soldadura se realiza mediante un gas inerte (argón, helio o mezclas de ambos). El material de aporte se aplica a través de varillas, teniendo una composición química similar al material base. En la Figura 6.12 se representa el procedimiento de realización de la unión soldada mediante una soldadura TIG y en la Figura 6.13 se puede apreciar una pistola de soldadura TIG así como los electrodos empleados en este método de soldadura [26] [27] [28] [36] [42] [64].

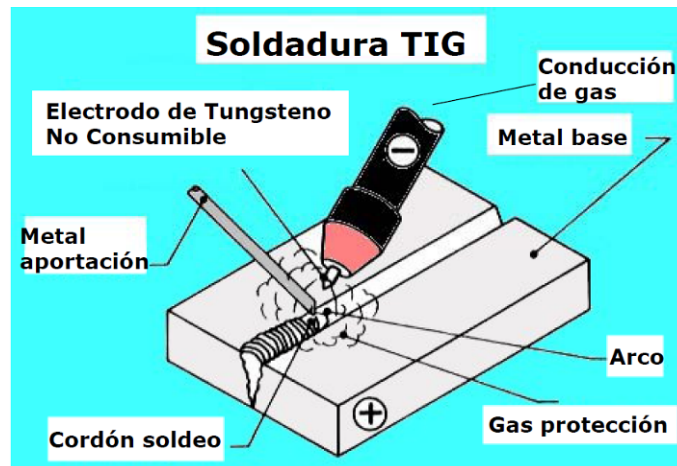


Figura 6.12. Proceso de realización de una soldadura mediante el procedimiento TIG [28].

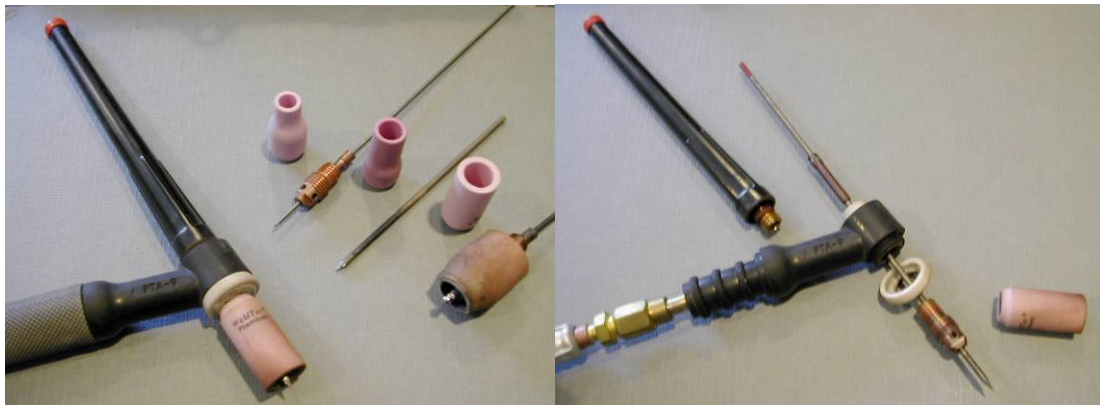


Figura 6.13. Fotografía de una pistola de soldadura TIG junto con los electrodos empleados [108][109].

6.3.5. Soldadura por fusión por partículas de alta energía:

Los procesos más importantes de la soldadura por partículas de alta energía son: la soldadura por haz de electrones y la soldadura por rayo láser. En la soldadura por haz de electrones el calor necesario para la fusión se obtiene de la colisión de un haz de electrones con la pieza que se quiere soldar, para ello se emplea el aparato esquematizado en la Figura 6.14. Una de las características de este proceso de soldadura es que el calor aportado es muy pequeño y el área afectada es bastante reducida permitiendo una mejor soldadura de materiales difíciles de soldar. Otra característica es la posibilidad de soldar planchas muy finas hasta espesores de 50 mm. En cambio presenta inconvenientes, como la necesidad de que los materiales estén libres de impurezas, facilita la aparición de poros en la soldadura, la unión debe realizarse en vacío lo que limita el tamaño tanto de la pieza soldada como del cordón de soldadura, y la soldadura debe realizarse mediante accionamientos a distancia.

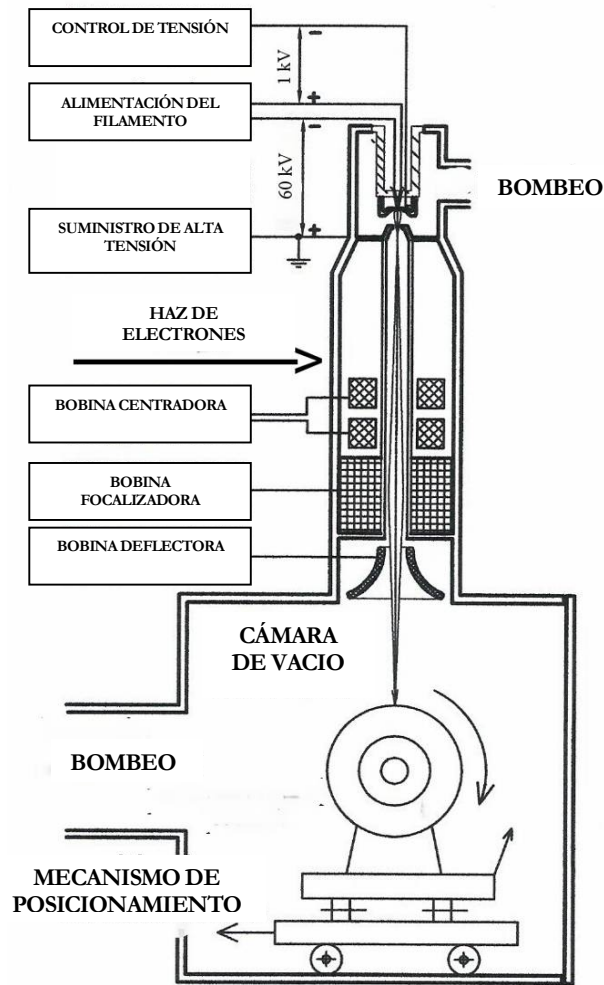


Figura 6.14. Instalación necesaria para la realización de una soldadura haz de electrones [115].

En la soldadura por rayo láser, el láser es el encargado de suministrar el calor necesario como se aprecia en el esquema representado en la Figura 6.15.

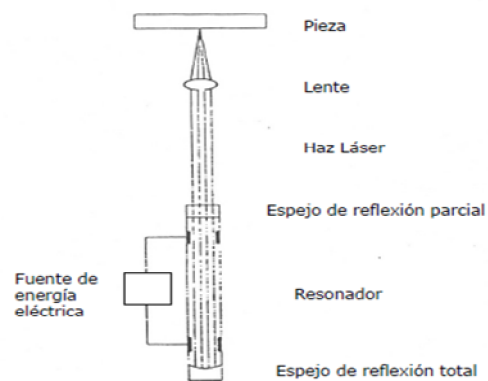


Figura 6.15. Instalación necesaria para la realización de una soldadura rayo láser [28].

Realizándose la soldadura mediante puntos sucesivos creados por la aplicación del láser en una zona del orden de un cabello en milésimas de segundo. Los láseres empleados son Yag-Neodimio (sólidos) y de CO₂ (gaseosos). En la Figura 6.16 se aprecia una unidad de soldeo por rayo láser [26] [28] [36] [42] [64].



Figura 6.16. *Unidad de soldeo por rayo láser* [29].

6.3.6. Defectos típicos en una unión soldada:

Al realizar una unión soldada debe evitarse la aparición de defectos en unión que conduzcan al fallo de la misma. Estos defectos pueden ser: discontinuidades químicas en la composición o microsegregación, crecimiento de grano, sopladuras, inclusiones, fusión incompleta del metal base, porosidad superficial, porosidad en el cráter, fisuración en el cráter, fisuras en la raíz, falta de penetración o penetración excesiva [36] [42] [64].

6.4. Unión adhesiva.

La unión adhesiva es una unión fija como se vio en la Tabla 6.1 del apartado 6.2. Aunque este tipo de uniones presenta la característica de que una vez eliminado el adhesivo es posible obtener las piezas que constituyen la unión en las condiciones previas a la realización de la misma. En una unión adhesiva, a las superficies de las piezas a unir que están en contacto con el adhesivo se las denomina sustratos como se aprecia en la Figura 6.17.

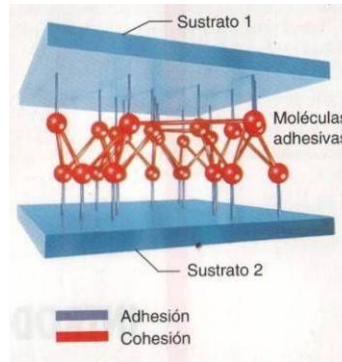


Figura 6.17. Representación esquemática de una unión adhesiva [52].

Los mecanismos de unión que actúan al efectuar una unión adhesiva son la adhesión y la cohesión, representados en la Figura 6.17 con los colores azul y rojo respectivamente.

La adhesión es la fuerza que une el adhesivo al sustrato, y se realiza mediante fuerzas de Van der Waals que son proporcionales al área real de contacto entre el adhesivo y el sustrato. En el área real de contacto se tiene en cuenta la rugosidad del sustrato por lo que suele ser mucho mayor que el área de contacto medida a nivel macroscópico. Por ello, una forma de aumentar el área real de contacto es que el adhesivo penetre en las rugosidades superficiales del sustrato aumentando el grado de mojado de la superficie. Además del mojado, en la adhesión influyen las propiedades adhesivas del adhesivo.

La cohesión es la fuerza que mantiene unidas las moléculas del adhesivo, es la combinación de las fuerzas existentes entre las cadenas poliméricas que forman el adhesivo, del tipo de Van der Waals, y los enlaces atómicos entre los elementos de los polímeros que constituyen el adhesivo. Como la resistencia de la unión corresponde a la menor fuerza entre la adhesión y la cohesión se considera que ambas deberán ser aproximadamente iguales [10] [26] [28] [36] [52] [64] [100].

6.4.1. Mecanismos de fallo de la unión adhesiva:

A la hora de producirse el fallo de una unión adhesiva se pueden presentar las siguientes situaciones, que se representan en la Figura 6.18.

- **Fallo cohesivo:** Se produce cuando el adhesivo deja de soportar las tensiones implicadas en la unión. De entre todos es el más deseable ya que solo hay que sustituir el adhesivo.
- **Fallo cohesivo al 50%:** Presenta una situación similar a la anterior.

- **Fallo adhesivo:** Se produce cuando falla la adhesión del adhesivo al sustrato, no es deseable su aparición al requerir el rediseño de la unión empleando un nuevo adhesivo o un producto que mejore la adherencia del adhesivo con el sustrato.
- **Fallo del sustrato:** Es el más indeseable al producirse la rotura de uno de los sustratos, implicando rediseñar la unión y reparar la pieza dañada [10] [26] [28] [36] [52] [64] [100].

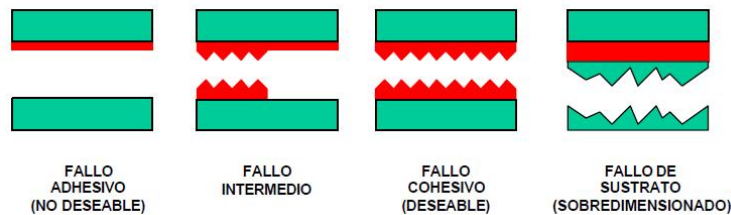


Figura 6.18. Mecanismos de fallo de una unión adhesiva.

6.4.2. Procesos de curado de los adhesivos:

Los adhesivos presentan distintos procesos de curado para realizar la unión adhesiva en función de las condiciones de uso, materiales que la forman, proceso productivo en el que se aplica, etc. Siendo los principales procesos de curado: Reacción anaeróbica, Exposición a la luz ultravioleta, Reacción aniónica (cianoacrilatos), Sistema de activación (acrílicos modificados), Curado por humedad (siliconas, poliuretanos) y Curado térmico (epoxis). Se describen a continuación los adhesivos correspondientes [10] [26] [28] [36] [52] [64].

6.4.2.1. Adhesivos curados por reacción anaeróbica:

Materiales monocomponente cuyo curado se produce a temperatura ambiente en ambientes anaeróbicos y en contacto con metales. La unión debe tener más de 5 mm de ancho a fin de garantizar la ausencia de oxígeno. En uso estructural, la holgura no debe superar los 0,5 mm y ambos sustratos deben de ser rígidos. Sus características son: Muy alta resistencia a cizalla; Buena resistencia a la temperatura (de -55°C a un máximo de $+230^{\circ}\text{C}$); Curado rápido; Facilidad de dosificación automática; No es necesario un proceso de superacabado, con una rugosidad entre 8 y $40\text{ }\mu\text{m}$ es suficiente; Efecto sellador con excelente resistencia química; Buena resistencia a la vibración y a las cargas dinámicas. El tiempo de curado depende de los sustratos, la holgura entre las piezas, la temperatura y el activador empleado [26] [28] [36] [52] [64].

6.4.2.2. Adhesivos curados por luz ultravioleta:

Materiales monocomponente que curan después de haber sido sometidos a una radiación ultravioleta de una intensidad y longitud de onda determinadas. Para que la radiación ultravioleta alcance completamente la unión al menos uno de los sustratos debe ser transparente a la longitud de onda de la radiación ultravioleta correspondiente. Se suelen clasificar en función de las necesidades del proceso de curado, obteniéndose la siguiente división:

- **Curado en profundidad por radiación ultravioleta:** Se emplean sistemas ultravioletas de alta intensidad que emiten en las longitudes de onda de 300 a 400 nm (rayos UVA).
- **Curado superficial por radiación ultravioleta:** Se usan radiaciones ultravioletas con una longitud de onda inferior a los 280 nm (rayos UVC) debido a que el uso de otras longitudes de onda puede producir una reacción indeseable con el oxígeno atmosférico quedando la superficie pegajosa.
- **Sistemas de curado secundario:** Al existir la posibilidad de que partes de la unión no puedan ser activadas por la radiación ultravioleta existen sistemas de curado secundario (anaeróbico, calor, humedad ambiental o activadores).

Las características son: Gran resistencia; Curado muy rápido; Gran capacidad de relleno de holguras; Resistencia a la manipulación para tiempos de curado muy reducidos; Buena o muy buena resistencia medioambiental; Buena capacidad de dosificación con sistemas automáticos y Adhesión a muchos sustratos [26] [28] [36] [52] [64].

6.4.2.3. Adhesivos curados por reacción aniónica (cianoacrilatos):

Estos adhesivos monocomponente polimerizan al entrar en contacto con superficies ligeramente alcalinas. En general, la humedad existente en la superficie de unión y en el aire circundante es suficiente para producir la iniciación del curado. Aplicado el adhesivo las piezas deben unirse rápidamente debido al inicio de la polimerización. Son adecuados para la unión de piezas pequeñas. Solo debe aplicarse una pequeña cantidad en una de las superficies. Sus características son: Muy alta resistencia a cizalla y a tracción; Muy alta velocidad de curado (fijación en segundos); Pueden unir casi todos los materiales; Buena resistencia al envejecimiento y No deben emplearse en vidrio o en piezas continuamente expuestas al agua [26] [28] [36] [52] [64].

6.4.2.4. Adhesivos curados mediante activadores (acrílicos modificados):

Materiales bicomponentes, presentándose separados el activador y el adhesivo, lo que permite aumentar la vida útil del adhesivo y despreocuparse del tiempo de aplicación. Para garantizar la ausencia de oxígeno la unión debe tener más de 5 cm. Al realizar la unión se pueden aplicar en cordones separados (paralelos o sobrepuestos que se mezclan con el movimiento de la unión) o premezclados. Sus características son: Muy alta resistencia a cizalla y a tracción; Buena resistencia al impacto; Amplia gama de temperaturas útiles (de -55° C a +120° C); Unión de casi todos los materiales; Buena capacidad de relleno de holgura y Buena resistencia ambiental. En comparación con los adhesivos anaeróbicos son más resistentes a impacto y a pelado, así como presentan una buena adhesión a muchos sustratos [26] [28] [36] [52] [64].

6.4.2.5. Adhesivos curados por la humedad ambiental:

Estos adhesivos/selladores polimerizan por una reacción de condensación que supone una reacción con la humedad ambiente. Se pueden dividir en dos tipos de productos químicos.

- **Siliconas:** Vulcanizan a temperatura ambiente al reaccionar con la humedad ambiental. Las siliconas utilizan la molécula de agua como base de su entrecruzamiento, por ello la humedad debe de migrar al interior de la silicona que es el lugar donde se produce la vulcanización. Este proceso de curado limita la profundidad a unos 10 o 15 mm. Dependiendo la velocidad de curado de la humedad relativa. Las características son: Excelente resistencia térmica (más de 230° C); Flexible, tenaz, alta capacidad de alargamiento; Módulo de bajo a medio; Sellado eficaz para diversos fluidos; Excelente relleno de la holgura. Los disolventes no polares provocan que se hinchen con facilidad.

- **Poliuretanos:** Se forman mediante un mecanismo en el que el agua reacciona con un aditivo que contiene grupos isocianato. En estos materiales la molécula de agua también tiene que migrar al interior del adhesivo, donde se produce el enlace. La velocidad de curado como es previsible también depende la humedad relativa y la profundidad de curado está limitada a unos 10 mm. Las características de los poliuretanos son: Excelente tenacidad; Flexibilidad, alta capacidad de alargamiento; Excelente relleno de la holgura; Puede pintarse una vez curado y Excelente resistencia química [26] [28] [36] [52] [64].

6.4.2.6. Adhesivos curados por calor:

Los adhesivos de curado por calor son principalmente monocomponentes. Por ejemplo, los epoxis de curado térmico se componen de resina y endurecedor. Dependiendo la temperatura de curado del endurecedor el tiempo de curado varía de forma inversamente proporcional, teniendo una temperatura mínima de inicio de la polimerización. Abarcan una amplia gama de propiedades que dependen fundamentalmente de la base química, siendo las más comunes: Resistencia entre media y alta; Buena adhesión a diversos sustratos; Buena capacidad de relleno de holgura y Resistencia al ambiente buena o muy buena [26] [28] [36] [52] [64].

6.4.3. Proceso de creación de una unión adhesiva:

Al depender la duración y resistencia de una unión adhesiva de muchos factores (adhesivo, sustrato, condiciones de operación, diseño de la unión y carga soportada) es conveniente seguir un proceso estructurado, que se esquematiza en la Figura 6.19, para obtener la unión adhesiva más adecuada a las condiciones de trabajo.

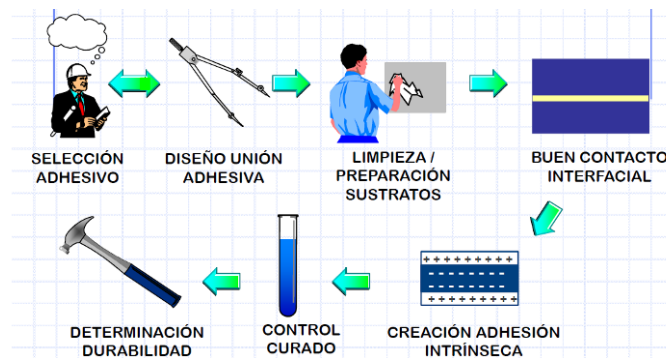


Figura 6.19. Proceso de diseño de una unión adhesiva [26].

Siendo el diseño de la unión fundamental para aprovechar al máximo las características del adhesivo seleccionado. El diseño debe dimensionarse de forma que no se superen los límites de aplicación del adhesivo en holgura, ancho mínimo de la unión, capacidad de relleno; evitando trabajar con cargas indeseables como las cargas de pelado y de desgarro [10] [26] [28] [36] [52] [64] [100].

6.4.3.1. Diseño de la unión:

En una unión adhesiva se pueden presentar cargas de compresión, tracción, cizallamiento, desgarro y pelado, indicándose las más importantes en la Figura 6.20. En las de compresión, las tensiones se distribuyen de forma uniforme sobre la línea de la unión. Realmente, las cargas de tracción y compresión puras no son habituales, siendo mucho más frecuentes las cargas de cizallamiento, desgarro y pelado. Implicando un reparto de esfuerzos a lo largo de la unión menos uniforme complicando su cálculo. Las tensiones de cizallamiento producen concentradores de tensiones en ambos extremos y las de desgarro o pelado lo producen en uno de los extremos.

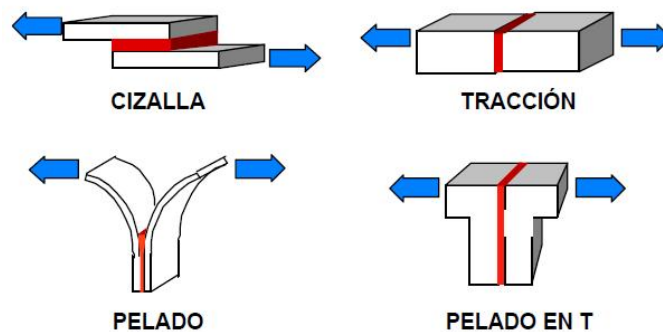


Figura 6.20. Distribuciones de tensión que se pueden encontrar en una unión adhesiva.

El diseño de una unión adhesiva busca una distribución de tensiones lo más uniforme posible. Si hay cargas de pelado o desgarro es necesario emplear los diseños que se recogen en la Figura 6.21.

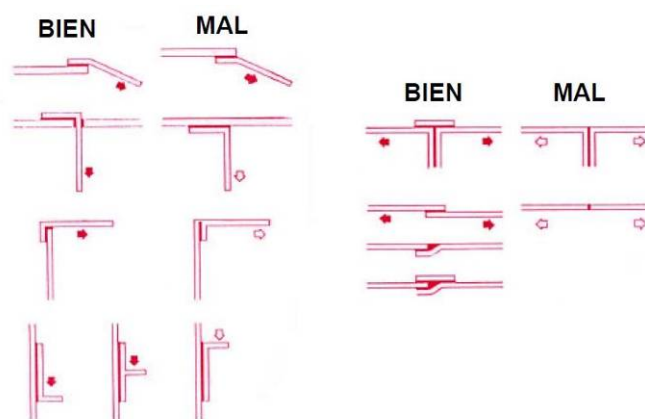


Figura 6.21. Soluciones para el rediseño de uniones adhesivas sometidas a esfuerzos indeseables.

Maximizando el área de la unión se reducen las tensiones de pelado o desgarro, para ello se aumenta el área como se recoge en la Figura 6.22.

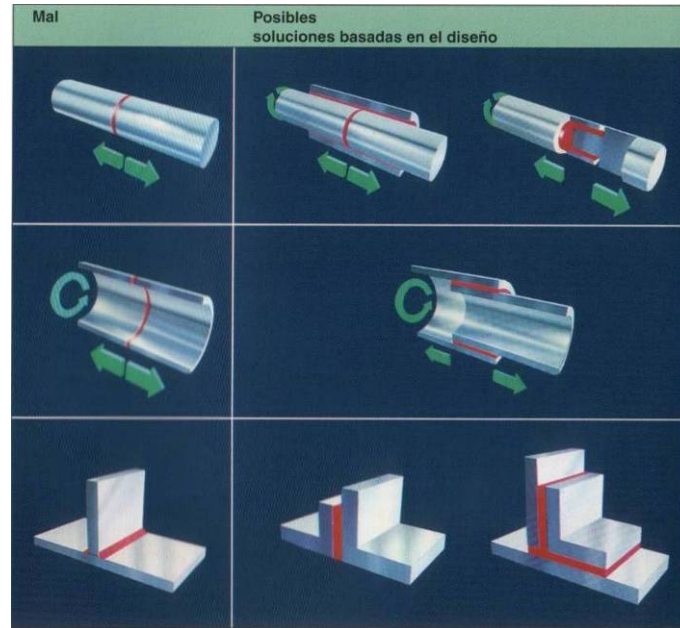


Figura 6.22. Formas de maximización del área de la unión [52].

Por último, al diseñar una unión adhesiva se deben optimizar las dimensiones de la unión, empleando para ello diferentes formas de optimización. La primera es eliminar las fuerzas excéntricas a las que está sometida la unión, debido a que provocan una distribución no uniforme de tensiones de cizallamiento para ello se aplican los diseños recogidos en la Figura 6.23.

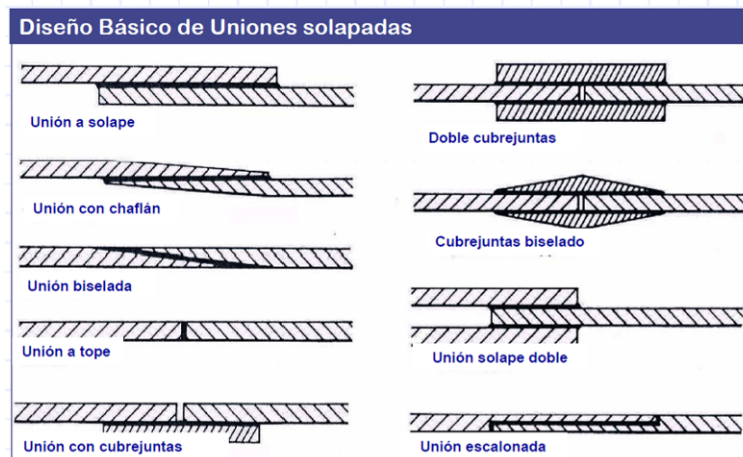


Figura 6.23. Diseños que reducen el efecto de las fuerzas excéntricas [26].

La segunda forma de optimizar es aumentar el ancho de la junta, al no alterarse la distribución de tensiones y aumentar la carga de rotura en la misma proporción que el ancho de la junta. La tercera es optimizando el solape de la junta con ello la carga de rotura no aumenta proporcionalmente a la longitud de la unión al existir una concentración de tensiones en los

extremos de la junta cuando las uniones están sometidas a cargas de cizalla. Por tanto, se busca la longitud que permita aumentar el área de la unión sin que las tensiones máximas sean muy superiores a la tensión media de la unión como se recoge en la Figura 6.24.

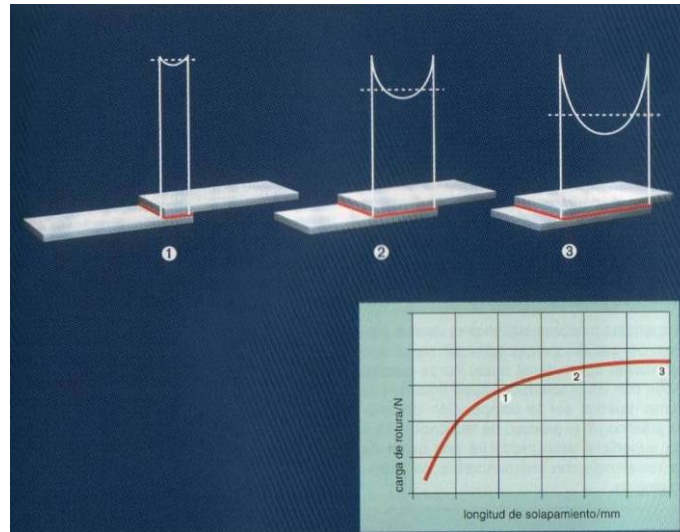


Figura 6.24. Evolución de las tensiones en la unión en función del solape de la junta [52].

La última forma es aumentar el espesor de la línea de unión, consiguiéndose que soporte mejor las tensiones de cizallamiento al permitirse que la deformación unitaria del adhesivo sea menor debido a que se divide en un mayor volumen. Una forma alternativa, es empleando adhesivos de módulo elástico más bajo [26] [28] [36] [52] [64] [100].

6.4.3.2. Curado de la unión adhesiva:

En los adhesivos estructurales el curado se realiza mediante uno o dos de los procesos explicados en el apartado 6.4.2 (Reacción anaeróbica; Exposición a la luz ultravioleta; Reacción aniónica (cianoacrilatos); Sistema de activación (acrílicos modificados); Curado por humedad (siliconas, poliuretanos) y Curado térmico (epoxis)). En usos no estructurales es posible encontrar adhesivos sin curado como las cintas adhesivas. Volviendo a los adhesivos estructurales las condiciones de curado del adhesivo se recogen en la documentación técnica que facilita el fabricante. Por ejemplo, en el caso del producto Loctite® 3423™ se indica que el curado se produce a temperatura ambiente una vez mezclados los dos componentes, que el tiempo necesario para desarrollar una resistencia a la cortadura de $0,1 \text{ N/mm}^2$ es de 3 horas y que en función de la temperatura se obtienen diferentes tiempos de curado como se recoge en la Figura 6.25 [52].

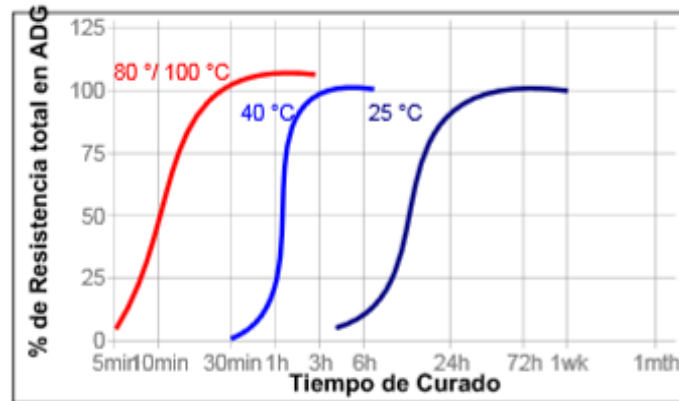


Figura 6.25. Curvas de curado del producto Loctite® 3423™ en función de la temperatura [54].

6.4.4. Proceso de degradación de una unión adhesiva:

El principal problema de un adhesivo es su tendencia a degradarse, siendo los principales factores que influyen en la duración de la unión adhesiva [10] [26] [28] [36] [52] [64] [100]:

- **Temperatura:** Altera las propiedades de la intercara. Al aumentar disminuye la adherencia, consecuencia de la diferencia de dilataciones entre sustrato y adhesivo. A bajas temperaturas los adhesivos se vuelven más rígidos, fragilizando la unión. Y a altas temperaturas los termoplásticos se reblandecen y los termoestables se descomponen.
- **Humedad:** La presencia de humedad permite que las moléculas de agua se desplacen hasta la intercara reduciendo la adherencia y propiciando la oxidación del sustrato.
- **Efectos electroquímicos:** La reacción con sustancias del ambiente altera la composición o las propiedades del adhesivo.
- **Combinación de temperatura, humedad y tensiones mecánicas:** Aceleran y hacen que aparezcan a menor temperatura los efectos perniciosos de está.
- **Envejecimiento y degradación:** En presencia de oxígeno y ultravioleta el adhesivo puede reaccionar con el oxígeno provocando la rotura de las cadenas poliméricas.

6.5. Unión remachada.

Otra forma de unión fija es la unión remachada, se realiza mediante un vástago metálico deformado por los extremos. Antiguamente se empleaba el método esquematizado en la Figura 6.26 y en la actualidad se emplean otros métodos como el representado en la Figura 6.27 [8] [36].

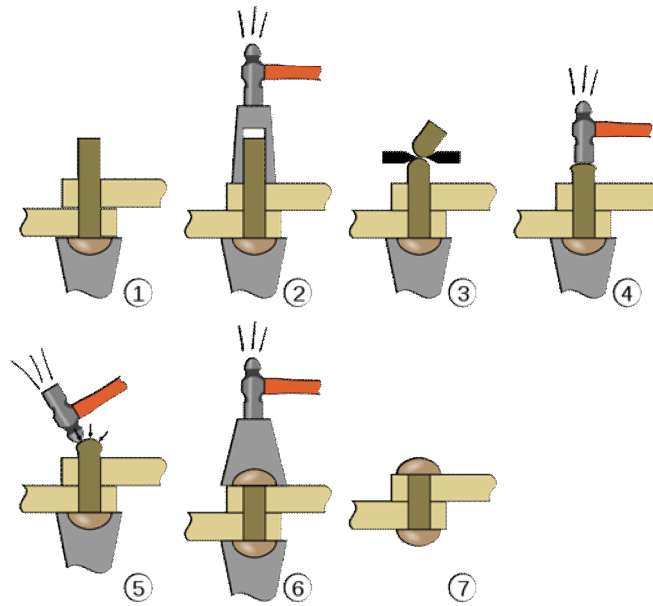


Figura 6.26. Proceso de creación una unión roblonada [107].



Figura 6.27. Proceso de creación de una unión remachada [23].

6.5.1. Tipos de remaches:

A día de hoy es posible encontrar una gran variedad de remaches en el mercado que se pueden clasificar según su forma (llenos, semi-huecos, tubulares o tubulares con escalón) Figura 6.28, según la forma de la cabeza del remache (redonda, gota de sebo, avellanada) Figura 6.29, según la forma creación de la unión (por estampación o mediante remaches ciegos), a su vez dentro de los remaches ciegos por la forma en la que se deforma en el interior de la pieza (pop, flor). Por último, en la Figura 6.30 se pueden representan los remaches normalizados DIN [8] [36].

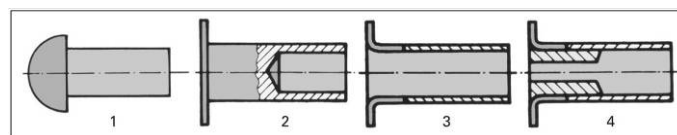


Figura 6.28. Clasificación de remaches según su forma. 1. Remache lleno, 2. Remache semi-hueco, 3. Remache tubular y 4. Remache tubular con escalón.

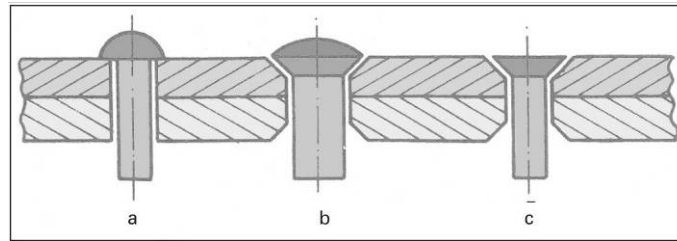


Figura 6.29. Clasificación de remaches según su cabeza. a. Cabeza redonda, b. Cabeza de gota de sebo y c. Cabeza avellanada.

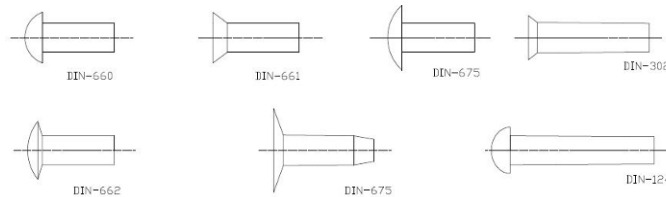


Figura 6.30. Clases de remaches [111].

6.5.2. Características:

Las uniones mediante remaches ciegos, los más adecuados para la construcción de una estructura tubular presentan las siguientes características (Rigidez moderada así como una baja resistencia a la tracción y a la cortadura, obteniéndose una fijación moderada; Mal comportamiento a fatiga aunque no se aflojan por la acción de vibraciones; Permiten unir piezas de un espesor desde 0,8 mm hasta 185 mm y de materiales diferentes; Están fabricados en diversos materiales, adaptándose a distintos requerimientos y presentando un bajo peso; Producen una unión no desmontable, que se tiene que destruir si quiere ser desmontada dificultando su inspección; No deforman las superficies una vez remachadas, por lo que no afectan a superficies pintadas, esmaltadas...; Presentan un buen comportamiento frente a variaciones de temperatura; Su montaje es rápido y económico, así como el manejo de las herramientas necesarias para su instalación es sencillo; Durante su montaje no se produce ningún residuo perjudicial) [8] [36].

6.5.3. Diseño de la unión:

Al diseñar una unión remachada, con remaches ciegos, la longitud del remache está determinada por el espesor de las chapas a unir. El diámetro del remache determina el diámetro del taladro a realizar. Y la disposición de los remaches, si la unión se va a realizar con más de uno, se realiza según se representa en la Figura 6.31 [8] [36].

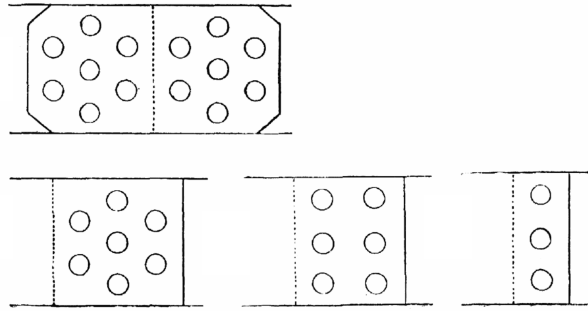


Figura 6.31. Disposiciones típicas de los remaches en las uniones remachadas [56].

6.6. Unión atornillada.

La forma de realizar una unión desmontable es mediante una unión atornillada (Tornillo y tuerca, Tornillo sobre pieza roscada o Tuerca sobre espiga roscada) como se aprecia en la Figura 6.32.

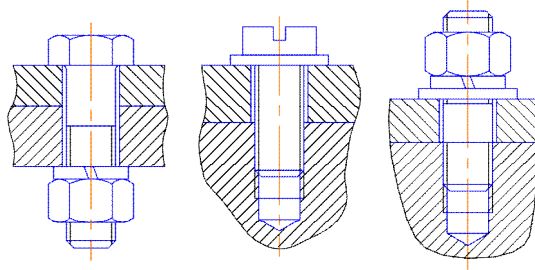


Figura 6.32. Tipos de uniones atornilladas [65][66][67].

Se han desarrollado y empleado distintos perfiles de roscas representándose los más usados en la Figura 6.33. Actualmente la rosca métrica es el perfil normalizado ISO siendo el más empleado, también se emplean perfiles especiales como las roscas Whitworth de gas o la rosca cortante.

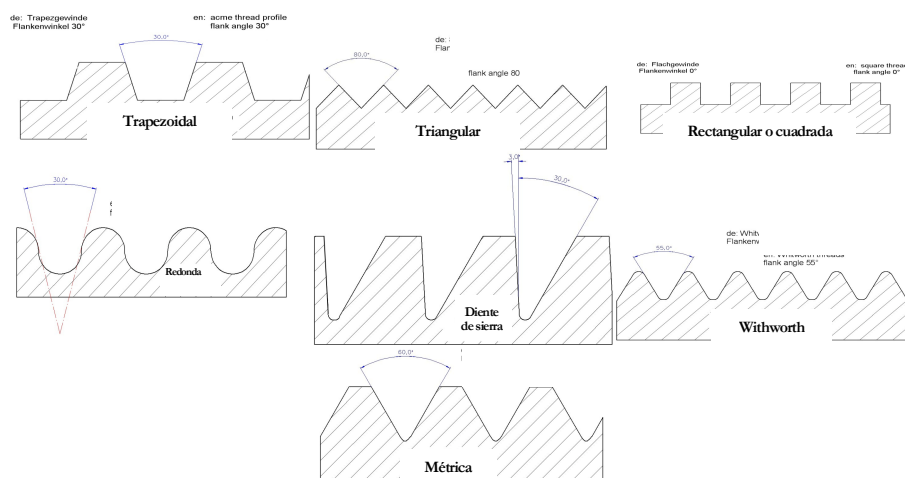


Figura 6.33. Principales perfiles de roscas [69][70][71][72][73][74][75].

En una unión atornillada, el vástago roscado debe resistir las tensiones aplicadas sobre él y debe comprobarse que las piezas a unir soportan los esfuerzos puntuales introducidos al transferir la carga de una pieza a otra mediante este método de unión [8] [26] [28] [36] [62] [100].

6.6.1. *Ventajas:*

Las principales ventajas de emplear uniones atornilladas son: Uso de elementos normalizados; Bajo coste de los elementos de unión; Diseño sencillo de la unión (Esfuerzos y la compatibilidad electroquímica de los elementos); Permite unir materiales distintos y casi cualquier material; Gran disponibilidad de herramientas para la realización de la unión y con coste muy reducido; Amplia experiencia en el trabajo con estas uniones; Permite el desmontaje de la unión sin dañar ninguno de los elementos que la forman; Unión capaz de soportar grandes esfuerzos y rápida de realizar [8] [26] [28] [36] [62] [100].

6.6.2. *Inconvenientes:*

Los principales inconvenientes son: Requiere realizar un taladro en las piezas a unir, con la consiguiente concentración de tensiones en esas zonas de las piezas; Apriete adecuado (Exceso daña las piezas a unir, defecto se afloja la unión); Las vibraciones tienden a aflojar la unión; Necesario verificar que no se haya aflojado la unión durante la vida del conjunto [8] [26] [28] [36] [62] [100].

6.6.3. *Diseño de la unión:*

Al diseñar una unión atornillada hay que determinar la configuración de la misma, en la Figura 6.34 se aprecian las disposiciones constructivas de una unión atornillada para el código técnico de la edificación [22] que se pueden emplear al realizar uniones atornilladas en otros ámbitos. Una vez decidida la disposición de los tornillos se calculan los esfuerzos en la unión. Por otro lado, se selecciona un tornillo se calcula la resistencia a cortante, a tracción y en los casos que sea necesario la resistencia frente a una combinación de ambos tipos de esfuerzos. Comparándose los esfuerzos con las resistencias se obtiene el número de tornillos necesarios para que la unión soporte los esfuerzos con el factor de seguridad elegido [8] [26] [28] [36] [62] [100].

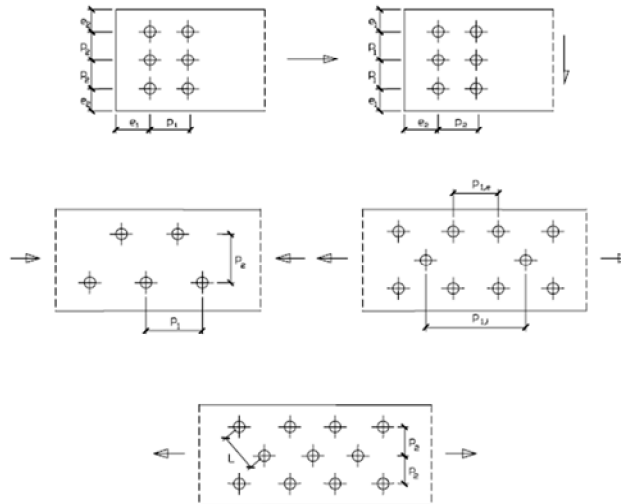


Figura 6.34. Principales disposiciones constructivas de una unión atornillada [22].

6.6.4. Errores en el apriete de la unión:

Los errores en el apriete de la unión se deben a distintos factores, siendo los más importantes:

- **Roscas dañadas:** Se está empleando parte del par de apriete en vencer la resistencia que genera el daño en la rosca. Los daños pueden estar causados por golpes en la rosca, tallado inadecuado de la rosca, virutas o suciedad en la unión, reutilización de elementos...
- **Presencia de lubricantes:** Su presencia reduce el par necesario para alcanzar un par de apriete determinado por lo si no están previstos pueden provocar un apriete excesivo en la unión o su ausencia puede provocar que la unión quede floja.
- **Relajación de par:** Siempre se produce una relajación del par de apriete cuando se deja de apretar la unión. En el caso de uniones formadas por elementos rígidos esta relajación es aceptable. Si hay un elemento elástico en la unión como una arandela Belleville esta relajación no es aceptable por lo que se emplea uno de estos procedimientos: apriete por fases, apriete a par y ángulo o empleando herramientas de impulso o impacto.
- **Ausencia de un componente de la unión:** Si al montar la unión se omite algún elemento como las arandelas, se modifican las condiciones de la unión y la fuerza de amarre de la misma.
- **Aplastamiento de la junta:** En el caso de un par excesivo se puede llegar a la deformación permanente de la junta perdiendo propiedades en la misma [8] [26] [28] [36] [62] [100].

7. El prototipo

Según la normativa de la competición [97] un prototipo es un vehículo de 3 ó 4 ruedas, que cumple con los artículos del apartado 3A del capítulo 1 de la normativa de la competición. De acuerdo a dicha normativa, que se recoge en el anexo I, se ha diseñado el prototipo que representará a la universidad en la Shell Eco-marathon Europe [5] [84].

7.1. *Diseño del prototipo*

En el equipo, para la realización del diseño del prototipo, se ha dividido el diseño en las siguientes áreas de trabajo: Sistema de dirección, Sistema de tracción, Sistema de frenado, Diseño estructural, Cálculo de prestaciones y Electrónica. En cada una de estas áreas se han creado grupos de trabajo más reducidos. Correspondiendo el presente proyecto al trabajo realizado en el grupo de diseño del bastidor en el área de diseño estructural.

Al estar el trabajo de cada área relacionado con el del resto, se procede a enumerar la información que ha sido necesario conocer para la consecución del objetivo global, que es tener un prototipo listo para competir, así como las consideraciones generales que se tomaron al inicio del proyecto.

7.2. *Consideraciones generales*

Las bases de diseño del prototipo se recogen en el anteproyecto fin de master *Estudio y diseño del prototipo destinado a participar en la competición Shell Eco-Marathon* de Eduardo Aparicio Reyes [5] donde

se plantea la tipología constructiva más eficiente. En dicho documento, una vez analizados los vehículos más eficientes que participaron en ediciones previas de la Shell Eco-marathon se decide que la configuración más adecuada para un prototipo es tener tres ruedas, situadas dos en el eje delantero y una en el eje trasero.

7.3. Sistema de dirección

Como la dirección es uno de los elementos que están en contacto directo con el bastidor del prototipo se inicia por esta área la determinación de la información necesaria.

7.3.1. Descripción:

Actualmente, el desarrollo del sistema de dirección está definido por el anteproyecto de Eduardo Aparicio Reyes [5] ya mencionado y los proyectos *Estudio y diseño del sistema de dirección del prototipo destinado a participar en la competición Shell Eco-Marathon* de Adrián Casco Hernández [17], *Diseño y cálculo del bastidor trasero y sistema de dirección del prototipo destinado a participar en la competición Shell Eco-Marathon* de Sergio Fuentes del Toro [37] y *Diseño del sistema de dirección y mando destinado a la competición Shell Eco Marathon* de Javier Zabala Urbieto [114], en los que se explica detalladamente el proceso de selección y diseño de dicho sistema. Durante el desarrollo del prototipo el sistema de dirección ha evolucionado a lo largo de los proyectos anteriormente mencionados por lo que se presentan de forma resumida y secuencial las conclusiones de dichos trabajos en relación con el sistema de dirección desarrollado para el prototipo.

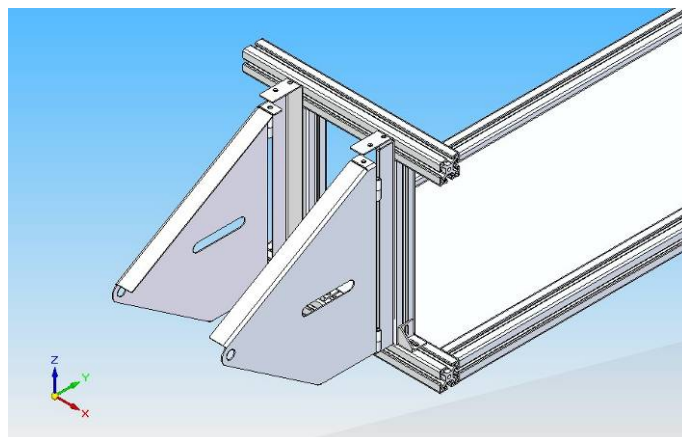


Figura 7.1. Propuesta de Eduardo Aparicio Reyes para el sistema de dirección para el prototipo [5].

La premisa inicial del diseño del sistema de dirección fue definida en [5] y se ha mantenido en el resto de diseños del sistema de dirección, siendo que el sistema de dirección actúa sobre la rueda trasera del prototipo mediante un sub-bastidor unido al bastidor mediante un eje vertical situado entre el habitáculo y el compartimento motor de forma que pueda existir un giro relativo entre ambas estructuras. En la Figura 7.1 se representa la propuesta de sistema de dirección de Eduardo Aparicio Reyes, que fue analizada y modificada en el proyecto de Adrián Casco Hernández debido a sus problemas de movilidad, obteniéndose el diseño representado en la Figura 7.2.

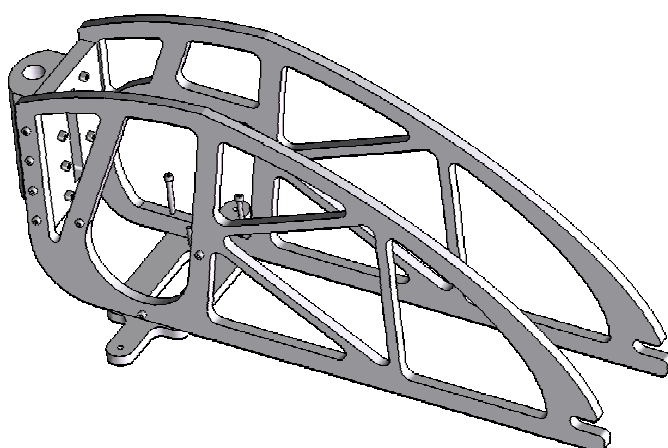


Figura 7.2. *Propuesta de Adrián Casco Hernández para el sistema de dirección para el prototipo [17].*

Analizando detenidamente el diseño de Adrián Casco Hernández, se vio que sería interesante modificar la posición del motor a fin de aumentar la estabilidad del prototipo, al estar previsto que el prototipo se situase a una distancia de 5 cm con respecto a la calzada. Lo que posibilitaba situar el motor por debajo del eje, rebajando el centro de gravedad del conjunto. Por ello Sergio Fuentes del Toro rediseñó el sistema de dirección obteniendo la propuesta representada en la Figura 7.3.

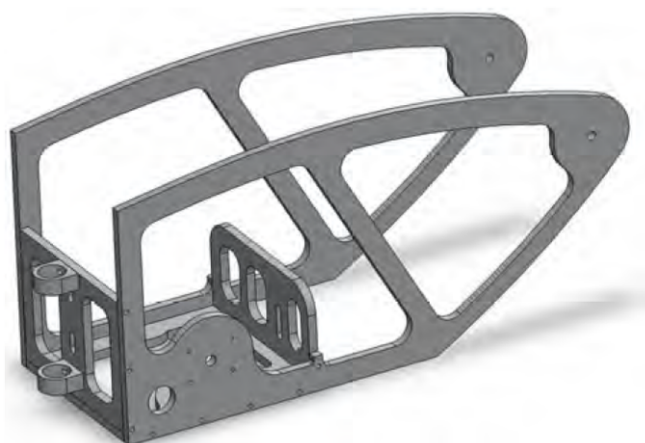


Figura 7.3. *Propuesta de Sergio Fuentes del Toro para el sistema de dirección para el prototipo [37].*

Habiendo observado todos los diseños anteriores, se detectó que todos presentaban el mismo inconveniente, al estar desplazado el eje de giro del punto de contacto de la rueda trasera con la calzada el radio de giro no es muy elevado para una carrocería en forma de media gota, ya que el ángulo que la rueda trasera se puede desplazar hacia cada lado es muy pequeño. Por ello, Javier Zabala Urbietta [114] rediseñó el sistema de dirección como se aprecia en la Figura 7.4, situando el eje de giro en la zona de contacto de la rueda trasera con la calzada y el motor sobre la rueda.

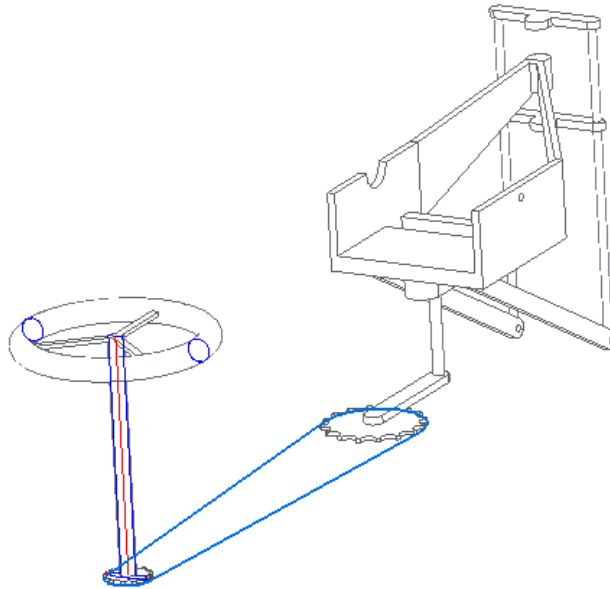


Figura 7.4. *Propuesta de Javier Zabala Urbietta para el sistema de dirección para el prototipo [114].*

7.3.2. *Condiciones para el diseño del bastidor:*

Por tanto, el bastidor debe tener una forma tal que el giro se realice respecto al eje vertical definido en el proyecto de Javier Zabala Urbietta, debe tener en cuenta el giro del sub-bastidor trasero a fin de que no haya interacciones ni con el sub-bastidor ni con ningún elemento susceptible de girar con el sub-bastidor. Así como tener en cuenta los anclajes de los distintos componentes del sistema de dirección diseñados en el proyecto de Javier Zabala Urbietta.

7.4. **Sistema de tracción**

La siguiente área de trabajo de la que se analiza su efecto sobre el bastidor del prototipo es la correspondiente al sistema de tracción al estar muy relacionada en el diseño del prototipo con el sistema de dirección del mismo.

7.4.1. Descripción:

El área correspondiente al diseño del sistema de tracción del prototipo se divide en: Selección y puesta a punto del motor, Diseño y selección del embrague y Diseño de la transmisión.

En el grupo de trabajo Selección y puesta a punto del motor, se decidió que el más adecuado para el prototipo es el motor HONDA GX 25 de cuatro tiempos y 25 centímetros cúbicos de gasolina, representado en la Figura 7.5 junto con sus curvas de par y de potencia. Este motor se puede encontrar comercialmente como motor de maquinaria de jardinería.

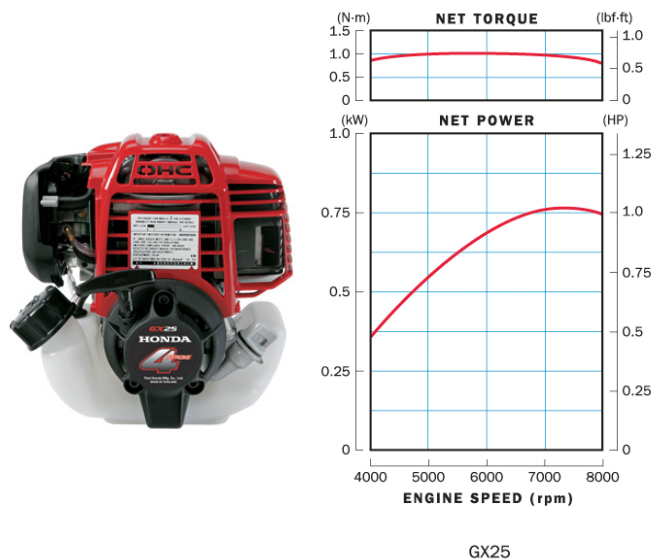


Figura 7.5. Motor seleccionado con sus curvas características [45].

Los otros dos grupos de trabajo han sido desarrollados por Fernando Sureda Gormáz en su proyecto *Diseño del embrague y la transmisión del prototipo destinado a la competición Shell Eco-marathon* [105] donde selecciona un embrague centrífugo de una minimoto representado en la Figura 7.6, y diseña su acople al motor del prototipo.

Además en el proyecto de Fernando Sureda Gormáz [105] también se diseña la transmisión del prototipo. Al ser el embrague de una minimoto y por razones geométricas, la transmisión se realiza en dos etapas con un eje intermedio sobre el que esta previsto acoplar un volante de inercia cuyo diseño se realizara posteriormente. La primera etapa, como se aprecia en la Figura 7.7, va del embrague al eje intermedio. La segunda etapa va desde el eje intermedio hasta la rueda

trasera. Ambas etapas se realizan con cadena de minimoto al ser el embrague de una minimoto y estar estas cadenas diseñadas para soportar tensiones superiores a las cadenas de bicicleta y para trabajar a mayores revoluciones.



Figura 7.6. Embrague seleccionado para el prototipo [105].

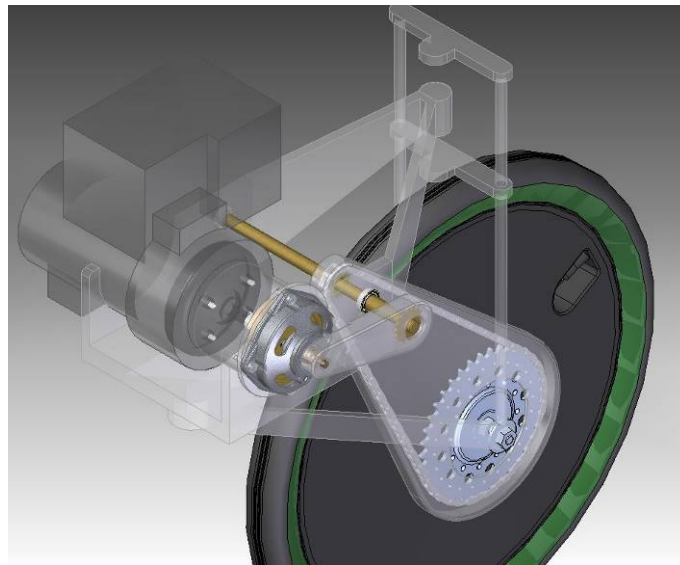


Figura 7.7. Imagen de la transmisión del prototipo [105].

7.4.2. Condicionantes para el diseño del bastidor:

Por tanto, el bastidor debe tener en cuenta el volumen ocupado por el motor y todos sus periféricos así como el volumen ocupado por la transmisión y el cubrecadena que recoge la normativa. Para esto último se tiene en cuenta la disposición de la misma y el número de etapas recogidos en el proyecto de Fernando Sureda Gormáz.

7.5. Sistema de frenado

La siguiente área a tener en cuenta es la correspondiente al diseño del sistema de frenado.

7.5.1. Descripción:

El sistema de frenado comprende la selección del sistema de frenos, el diseño de los anclajes a la estructura y la selección de los actuadores. Al iniciar el desarrollo del presente proyecto solo se había decidido el empleo de frenos de disco.

7.5.2. Condicionantes para el diseño del bastidor:

Por ello, aunque habría que tener en cuenta la forma de anclaje y el tipo de frenos seleccionado, al no haberse calculado se considera que el esfuerzo de los frenos recaerá en el eje y en sus soportes.

7.6. Diseño estructural

El último área de trabajo es la de diseño estructural a la que también pertenece el presente proyecto debido a que las áreas de prestaciones y de electrónica actualmente no afectan al diseño.

7.6.1. Descripción:

El área de diseño estructural comprende el diseño del bastidor, el diseño de la carrocería y la selección de los cinturones de seguridad.

Para el diseño de los cinturones de seguridad la normativa específica que deben usarse cinturones de seguridad de cinco puntos [97]. Por ello, se ha seleccionado un arnés de cinco puntos de un fabricante de cinturones para competición que cumplen la norma FIA, mucho más restrictiva que la normativa de la competición.

Con respecto al diseño del bastidor, aunque se va a realizar uno nuevo es conveniente tener presentes todos los diseños realizados. El primero que fue realizado por Eduardo Aparicio Reyes

en el anteproyecto mencionado [5], se representa en la Figura 7.8, y le siguieron varios más hasta el presente documento, en el que se diseñará uno nuevo a consecuencia de la modificación sustancial de la premisas en las que se basaron todos los diseños previos.

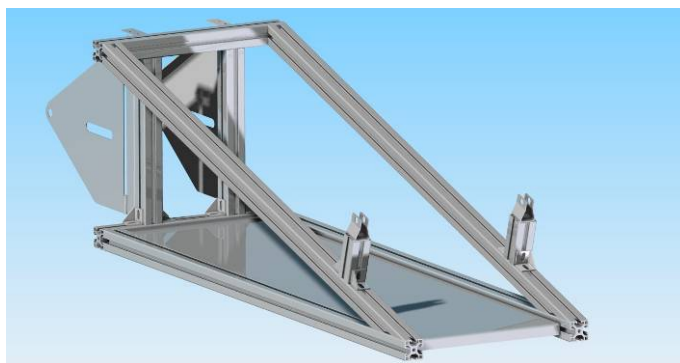


Figura 7.8. *Propuesta de Eduardo Aparicio Reyes para la estructura del prototipo.*[5]

Como se ha mencionado el primero de ellos fue el diseño de Eduardo Aparicio Reyes [5] en el que se monta una dirección trasera, al permitir una reducción significativa del área frontal del prototipo ya que las ruedas delanteras son fijas y se puede ajustar la carrocería en ese punto. Por otro lado, el empleo de este tipo de dirección en un vehículo con tracción trasera implica el desarrollo de un sub-bastidor trasero como se mencionó en el apartado del diseño del sistema de dirección. A consecuencia de los problemas de movilidad ya mencionados en dicho apartado, se realizó un nuevo diseño de la estructura del prototipo a cargo de Antonio Sellar Robles y que se recogió en *Diseño y cálculo de la estructura de un prototipo destinado a participar en la competición Shell Eco-Marathon* [77]. Cuyo diseño se muestra en forma teórica en la Figura 7.9 y una vez construido en la Figura 7.10.

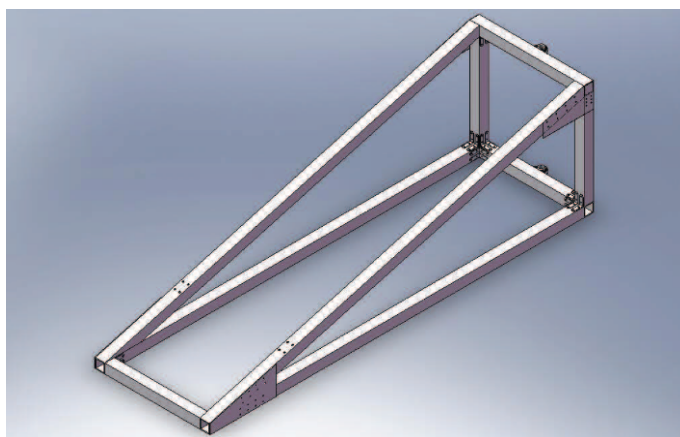


Figura 7.9. *Diseño de Antonio Sellar Robles de la estructura del prototipo.*[77]

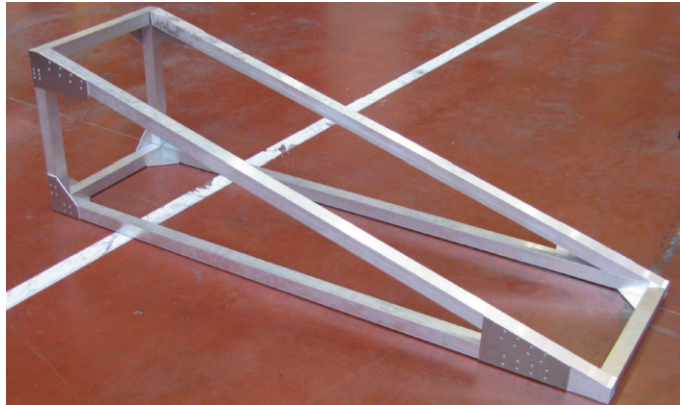


Figura 7.10. Estructura construida por Antonio Seller Robles.[77]

Al ser la estructura diseñada por Antonio Seller Robles [77] demasiado pesada, en *Estudio y diseño del bastidor delantero del prototipo destinado a participar en la competición Shell eco-marathon* [13] Pablo Blanco Esteban realizó el rediseño de la Figura 7.11.

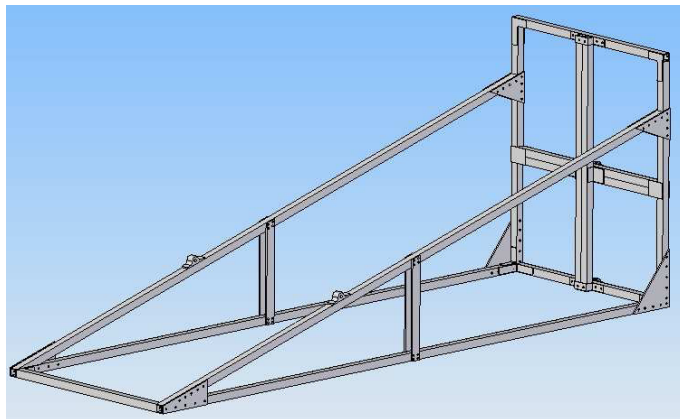


Figura 7.11. Diseño de Pablo Blanco Esteban de la estructura del prototipo.[13]

Descartándose su construcción debido a que poco después de finalizar su diseño se decidió modificar de forma sustancial el prototipo. En el nuevo diseño el prototipo pasaba de estar pegado al suelo a tener un fuselaje completo de forma que la resistencia aerodinámica fuese mínima, iniciándose el diseño por el carenado y no por el bastidor como hasta ahora. Por ello, el diseño de la carrocería se inició con *Diseño aerodinámico del carenado para el prototipo destinado a la competición Shell Eco-Marathon* de Gonzalo Fernández-Pintado Aldonza [35] resultando el carenado representado en la Figura 7.12. Dicho carenado es consecuencia de minimizar la resistencia aerodinámica al avance. Obteniéndose que la distancia óptima entre el suelo y la parte inferior de la carrocería es de 20 cm. Al ser el diseño del carenado esencial para el diseño del bastidor del prototipo se procede a describir dicho proceso: Se emplearon dos perfiles NACA simétricos

convenientemente modificados, uno para la planta y otro para el alzado unidos mediante elipses de forma que hubiese espacio suficiente en su interior para el piloto. Se decidió el empleo de este tipo de perfiles simétricos al permitir obtener la mínima resistencia aerodinámica al avance y estando su forma claramente definida por su denominación.

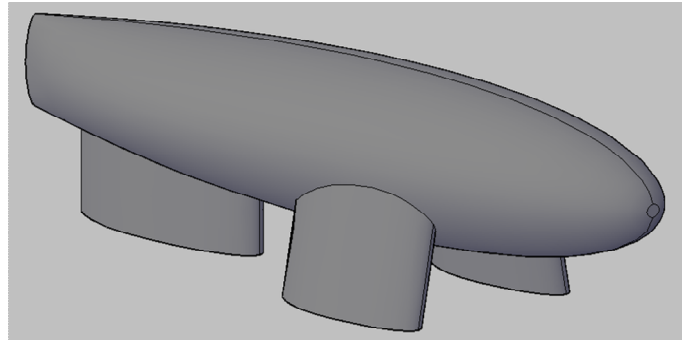


Figura 7.12. *Diseño definitivo de la carrocería del prototipo [35].*

Una vez obtenido el carenado se procedió a diseñar el bastidor del prototipo, en el presente documento, y el sub-bastidor trasero junto con el sistema de dirección, por parte de Javier Zabala Urbietta en su proyecto fin de carrera [114] mencionado en el diseño del sistema de dirección.

7.6.2. Condicionantes para el diseño del bastidor:

Del diseño de los cinturones hay que tener en cuenta el número y posición de los anclajes, así como las fuerzas que transmitirán a los anclajes en su situación de trabajo, a fin de reforzar la estructura en dichos puntos.

De las estructuras previas se debe tener en cuenta la configuración del bastidor, dividido en dos partes, además de la posición de las ruedas delanteras.

Y por último, de la carrocería hay que tener en cuenta que se sujetará a la estructura y las limitaciones de forma que introduzca en la estructura, ya que ninguna parte del bastidor debe sobresalir del carenado.

8. Diseño de la estructura

Una vez conocida la competición Shell Eco-marathon y la normativa de la misma, habiendo repasado las formas constructivas de los automóviles y los tipos de uniones que se pueden realizar en una estructura, así como el estado actual del prototipo del equipo Shell Eco-marathon UC3M se procede a realizar el diseño del bastidor de dicho prototipo. Para ello es conveniente repasar todas las restricciones que afectan al diseño de la estructura.

8.1. Restricciones de la estructura:

A fin de clarificar todas las restricciones que se deben tener presentes a la hora de diseñar la estructura del prototipo se ha decidido separar dichas restricciones en externas al equipo: normativa de la competición y otras derivadas de la competición; y en internas al equipo que son todas las que el resto de áreas imponen a la estructura.

Restricciones recogidas en la normativa [97]: Estos condicionantes se encuentran principalmente localizados en los artículos incluidos dentro del epígrafe 3 del capítulo I de la normativa. En el capítulo 4 del presente documento, se recogen de forma detallada todos los artículos de la normativa que se consideran importantes para la realización del diseño de la estructura, en el anexo I se incluye una copia completa de la normativa en inglés y en este apartado solo se recogen las restricciones consecuencia de dicho articulado por orden de aparición en la normativa: El piloto con todo lo necesario para pilotar el vehículo debe pesar más de 50 kg, en caso contrario el equipo debe colocar lastre hasta completar el peso; el piloto no puede perder

más de 1 kg durante la prueba y el habitáculo debe disponer de una ventilación adecuada; los prototipos pueden tener 3 ó 4 ruedas que deben estar en contacto permanente con la pista; los vehículos no pueden tener elementos que puedan dañar al piloto u a otros competidores en caso de colisión; el vehículo debe disponer de un arco de seguridad situado 5 cm por encima de la cabeza y hombros del piloto; el arco de seguridad debe soportar la aplicación estática de una carga de 700 N sin deformarse; el bastidor del prototipo debe proteger al piloto en caso de colisión frontal o lateral; debe existir una mampara ignífuga que separe el habitáculo del compartimento motor; el piloto debe disponer de una visibilidad completa 90° a cada lado del eje longitudinal del vehículo sin ayudas ópticas o electrónicas; el vehículo debe superar una prueba de visibilidad; el piloto debe abandonar el vehículo en menos de 10 segundos; el vehículo debe disponer de un extintor de tipo ABC de 1 kg que descargue en el vano motor y sea activado por el piloto en la posición de conducción; la altura máxima del prototipo debe de ser menor de 100 cm, además debe ser menor que 1,25 veces el ancho de vía mayor; el ancho de vía debe ser mayor de 50 cm entre los centros de las huellas de los neumáticos; la batalla debe ser mayor de 100 cm; el ancho máximo del vehículo debe de ser menor de 130 cm; la longitud total del vehículo debe ser inferior a 350 cm; el peso máximo admisible del vehículo sin conductor es de 140 kg; las ruedas deben estar separadas del habitáculo por una mampara.

Restricciones del equipo. Estas restricciones se recogen en el capítulo 7 del presente proyecto y son: el prototipo tiene tres ruedas, dos en la parte delantera y una en la trasera; la dirección se sitúa en la rueda trasera; el motor, la rueda trasera y todos sus periféricos se montan en un sub-bastidor que se articula con la estructura a diseñar obteniendo un radio de giro aceptable; debe existir una estructura bajo el piloto a la que anclar el quinto punto del cinturón de seguridad así como tener en cuenta las uniones con la estructura de los anclajes del cinturón de seguridad; hay que tener en cuenta que entre la calzada y el piso del prototipo debe haber 20 cm; hay que considerar la unión entre la carrocería y la estructura así como la forma de la carrocería.

8.2. Posición del piloto:

Una vez recopiladas todas las restricciones conocidas para el diseño de la estructura se procede a determinar la postura más idónea para el piloto. Para ello se han analizado las posturas de los pilotos de los vehículos ganadores de anteriores ediciones, llegándose a la conclusión de que la

posición del piloto es tal que permita obtener una menor área frontal, como se puede apreciar en la Figura 8.1, en la Figura 8.2 y en la Figura 8.3.



Figura 8.1. Posición del piloto en el microjoule del Lycée La Joliverie participante en la Shell Eco-marathon de 2010 [84].



Figura 8.2. Posición del piloto en el microjoule del Lycée La Joliverie participante en la Shell Eco-marathon de 2009 [84].

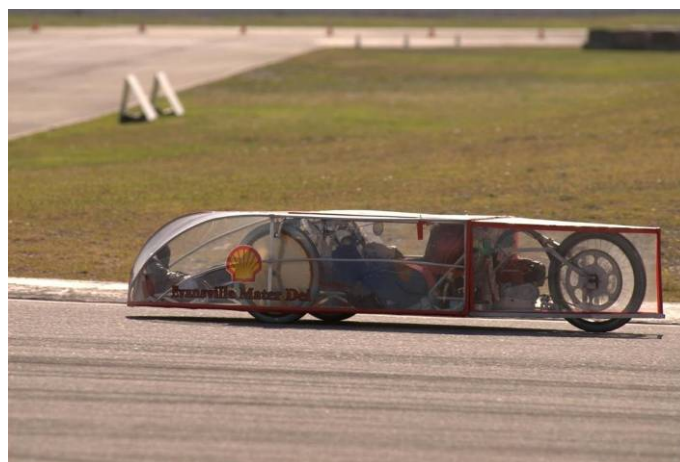


Figura 8.3. Posición del piloto en otro prototipo participante en la Shell Eco-marathon [84].

Lo que implica que el piloto se encuentre completamente tumbado con los hombros y la cabeza ligeramente elevados. Esta posición además de ser la más adecuada tanto por normativa como en términos de aerodinámica, permite que el peso del piloto se reparta más uniformemente a lo largo del bastidor, bajando su centro de gravedad. Al llevar las piernas estiradas se consigue que las rodillas no reduzcan la visibilidad. Aunque el que el parabrisas se sitúe tan alejado de la cabeza del piloto y tener el habitáculo un ancho cercano al medio metro puede producir en la visión cierto efecto túnel.

Al no estar plenamente definido el piloto ni el piloto suplente que contempla la normativa [97], se procede a caracterizar las dimensiones del piloto en base a datos antropométricos para la población adulta, obtenidos del estudio del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo realizado por el Dr. Antonio Carmona Benjumea [16]. En la Tabla 8.1 se recogen los datos antropométricos para la población laboral española, tomados del apéndice I del documento del Dr. Carmona. Se ha decidido emplear los datos de toda la población laboral sin distinguirlos por sexo debido a que se conseguirá un diseño adecuado a todos los posibles pilotos.

Los datos de la Tabla 8.1 permiten definir las dimensiones de un elemento para que sea útil a toda o a parte de la población laboral española. El que un cinco por ciento de la población sea menor que el valor de cierta dimensión no implica que toda esa población vaya a corresponder con el cinco por ciento de la población que es menor que el valor de otra dimensión. Esta circunstancia se ha decidido no tenerla en cuenta a la hora de definir al piloto ya que aunque las dos poblaciones antes mencionadas sean distintas existirá una parte de las mismas que sea común a ambas, por lo que para la realización del modelo del piloto se ha supuesto que cada percentil recogido en la Tabla 8.1 permita la definición completa de los límites superiores o inferiores de la población correspondiente.

Como el piloto debe pesar alrededor de 50 kg, se ha considerado que los valores del percentil P5 representan adecuadamente las dimensiones máximas del piloto y el percentil P1 representa las dimensiones mínimas del piloto si fuese necesario emplear alguna. Al suponerse que los percentiles dividen la población en grupos cerrados se considera que un cinco por ciento de la población laboral española podrá pilotar nuestro prototipo y más concretamente que será posible encontrar a alguien de estas características entre los estudiantes de la universidad.



Nº de ref. ISO 7250:1996	Designación	Tamaño Muestra	Media	Desviac. típica	Error típico	Percentiles				
						P 1	P 5	P 50	P 95	P 99
1. Medidas tomadas con el sujeto de pie (mm)										
1 (4.1.1)	Masa corporal (peso, kg)	1711	70,46	12,70	0,307	46,9	51,0	70,0	92,7	102,8
2 (4.1.2)	Estatura (altura del cuerpo)	1723	1663,23	83,89	2,021	1479,0	1525,0	1665,0	1803,0	1855,0
3 (4.1.3)	Altura de los ojos	1722	1557,96	82,31	1,985	1328,0	1423,0	1558,0	1699,0	1747,0
4 (4.1.4)	Altura de los hombros	1722	1382,12	76,28	1,838	1217,0	1256,0	1384,0	1508,0	1558,0
5 (4.1.5)	Altura del codo	1721	1027,24	58,03	1,399	900,0	932,0	1027,0	1122,0	1165,0
6 (4.1.6)	Altura de la espina iliaca	1524	934,46	56,59	1,452	806,0	842,0	934,0	1028,0	1066,0
7 (4.1.8)	Altura de la tibia	1374	451,78	36,56	0,986	377,0	398,0	449,0	515,0	548,0
8 (4.1.9)	Espesor del pecho, de pie	1722	249,16	26,91	0,648	192,0	208,0	248,0	294,0	320,0
9 (4.1.10)	Espesor abdominal, de pie	1719	230,05	39,81	0,960	154,0	168,0	229,0	297,0	327,0
10 (4.1.11)	Anchura del pecho	1722	308,20	32,80	0,790	237,0	257,0	309,0	360,0	385,0
11 (4.1.12)	Anchura de caderas, de pie	1723	343,30	24,31	0,586	288,0	306,0	342,0	385,0	404,0
2. Medidas tomadas con el sujeto sentado (mm)										
12 (4.2.1)	Altura sentado	1716	859,69	41,590	1,004	764,0	793,0	859,0	929,0	959,0
13 (4.2.2)	Altura de los ojos, sentado	1716	753,04	39,780	0,960	661,0	690,0	753,0	819,0	848,0
14 (4.2.3)	Altura del punto cervical, sentado	1716	631,26	35,230	0,850	552,0	574,0	631,0	688,0	714,0
15 (4.2.4)	Altura de los hombros, sentado	1719	578,66	33,700	0,813	500,0	524,0	579,0	635,0	660,0
16 (4.2.5)	Altura del codo, sentado	1711	224,98	26,440	0,639	169,0	182,0	224,0	269,0	294,0
17 (4.2.6)	Longitud hombro-codo	1721	354,75	25,480	0,614	291,0	312,0	356,0	395,0	410,0
18 (4.2.8)	Anchura de hombros, biacromial	1721	369,58	39,460	0,951	281,0	304,0	372,0	432,0	453,0
19 (4.2.10)	Anchura entre codos	1717	457,85	53,330	1,287	335,0	367,0	461,0	542,0	574,0
20 (4.2.11)	Anchura de caderas, sentado	1718	365,14	30,440	0,734	294,0	316,0	364,0	417,0	445,0
21 (4.2.12)	Longitud de la pierna (altura del poplíteo)	1721	418,17	29,170	0,703	350,0	368,0	419,0	464,0	487,0
22 (4.2.13)	Espesor del muslo, sentado	1710	144,78	18,890	0,457	100,0	112,0	145,0	174,0	188,0
23 (No incl.)	Altura del muslo, sentado	1712	558,21	35,140	0,849	473,0	498,0	558,0	615,0	632,0
24 (4.2.15)	Espesor abdominal, sentado	1719	240,12	44,110	1,064	156,0	173,0	238,0	314,0	349,0
3. Medidas de segmentos específicos del cuerpo (mm)										
25 (4.3.1)	Longitud de la mano	1719	182,94	11,88	0,287	155,0	163,0	183,0	202,0	209,0
26 (4.3.3)	Anchura de la palma de la mano (en metacarpianos)	1719	85,29	7,86	0,190	68,0	72,0	86,0	97,0	102,0
27 (4.3.4)	Longitud del dedo índice	1378	72,00	5,13	0,138	61,0	64,0	72,0	81,0	85,0
28 (4.3.5)	Anchura proximal dedo índice	1722	19,88	1,99	0,048	16,0	17,0	20,0	23,0	24,0
29 (4.3.6)	Anchura distal del dedo índice	1723	17,29	2,03	0,049	13,0	14,0	17,0	20,0	22,0
30 (4.3.7)	Longitud del pie	1721	251,55	17,80	0,429	210,0	221,0	253,0	279,0	290,0
31 (4.3.8)	Anchura del pie	1715	97,10	8,61	0,208	71,0	84,0	98,0	110,0	115,0
32 (4.3.9)	Longitud de la cabeza	1717	187,38	8,68	0,209	166,0	173,0	187,0	201,0	206,0
33 (4.3.10)	Anchura de la cabeza	1719	144,74	7,68	0,185	126,0	132,0	145,0	157,0	162,0
34 (4.3.11)	Longitud de la cara (nasion-mentón)	1570	124,97	11,48	0,290	104,0	110,0	124,0	142,0	159,0
35 (4.3.12)	Perímetro de la cabeza	1698	565,63	20,05	0,487	520,0	533,0	565,0	598,0	611,0
36 (4.3.13)	Arco sagital de la cabeza	1715	354,30	225,47	0,615	299,0	315,0	352,0	400,0	419,0
37 (4.3.14)	Arco bitragial	1718	359,51	19,80	0,478	312,0	326,0	360,0	391,0	402,0
38 (No incl.)	Distancia interpupilar	1717	62,76	4,39	0,106	52,0	56,0	63,0	70,0	73,0
4. Medidas funcionales (mm)										
39 (4.4.2)	Alcance máximo horizontal (puño cerrado)	1719	698,83	54,25	1,308	570,0	606,0	700,0	785,0	818,0
40 (4.4.3)	Longitud codo-puño	1715	335,93	25,58	0,618	275,0	292,0	337,0	376,0	393,0
41 (4.4.4)	Altura del tercer metacarpiano	1568	732,87	43,45	1,097	633,0	662,0	733,0	807,0	836,0
42 (4.4.5)	Longitud codo-punta de dedos	1717	447,32	30,23	0,730	381,0	396,0	448,0	495,0	514,0
43 (4.4.6)	Profundidad del asiento	1721	493,52	28,05	0,676	426,0	450,0	492,0	540,0	568,0
44 (4.4.7)	Longitud rodilla-trasero	1719	590,75	31,52	0,760	523,0	541,0	590,0	644,0	667,0
45 (4.4.8)	Perímetro del cuello	1718	368,31	37,21	0,898	292,0	308,0	373,0	425,0	448,0
46 (4.4.9)	Perímetro torácico, de pie	1707	968,86	91,01	2,203	788,0	826,0	970,0	1117,0	1210,0
47 (4.4.10)	Perímetro de cintura, de pie	1721	871,72	118,93	2,867	642,0	680,0	872,0	1056,0	1147,0
48 (4.4.11)	Perímetro de la muñeca	1712	166,10	13,73	0,332	137,0	143,0	168,0	187,0	196,0

Tabla 8.1. Datos antropométricos de la población laboral española [16].

En la Figura 8.4 se representa la localización de las medidas de la Tabla 8.1 tomadas con el sujeto de pie según la norma UNE-EN ISO 7250-1[110], salvo en los casos donde no existe imagen en la norma o la medida no se corresponde con las recogidas en la norma, y en la Figura 8.5 se representa la localización de las medidas tomadas con el sujeto sentado.

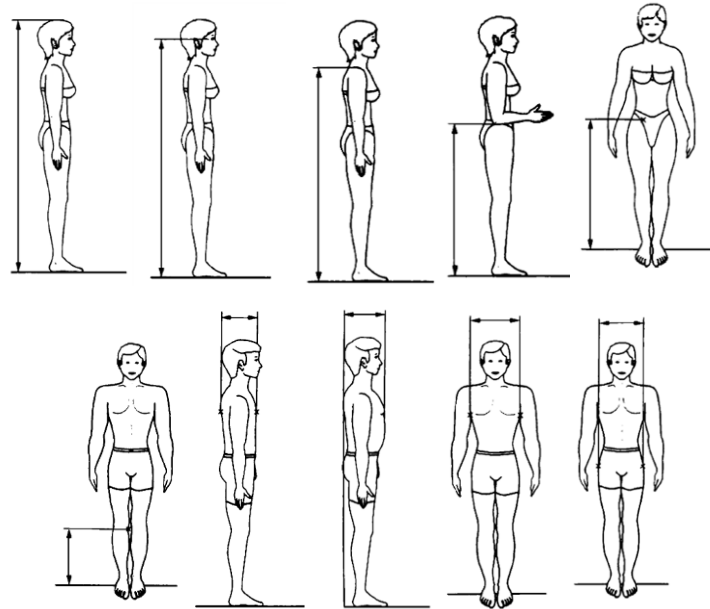


Figura 8.4. Localización de las medidas tomadas con el sujeto de pie. En la primera fila de izquierda a derecha: Estatura, Altura de los ojos, Altura de los hombros, Altura del codo y Altura de la espina iliaca. En la segunda fila de izquierda a derecha: Altura de la tibia, Espesor del pecho, Espesor abdominal, Anchura del pecho y Anchura de caderas [110].

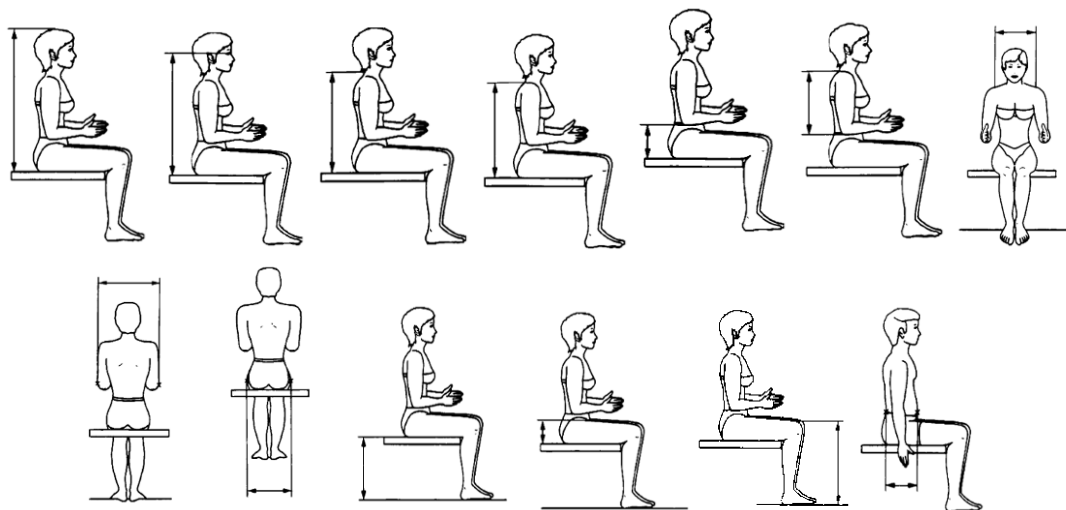


Figura 8.5. Localización de las medidas tomadas con el sujeto sentado. En la primera fila de izquierda a derecha: Altura sentado, Altura de los ojos, Altura del punto cervical, Altura de los hombros, Altura del codo, Longitud hombro-codo y Anchura de hombros (biacromial). En la segunda fila de izquierda a derecha: Anchura entre codos, Anchura de caderas, Longitud de la pierna (altura del poplíteo), Espacio libre para el muslo (espesor del muslo), Altura del muslo (medida no recogida en la norma) y Espesor abdominal [110].

En la Figura 8.6 se representa la localización de las medidas de los segmentos del cuerpo recogidas en la norma UNE-EN ISO 7250-1[110] salvo los casos antes mencionados. Por último, en la Figura 8.7 se representan las medidas funcionales recogidas en la Tabla 8.1 según la norma UNE-EN-ISO 7250-1 [110].

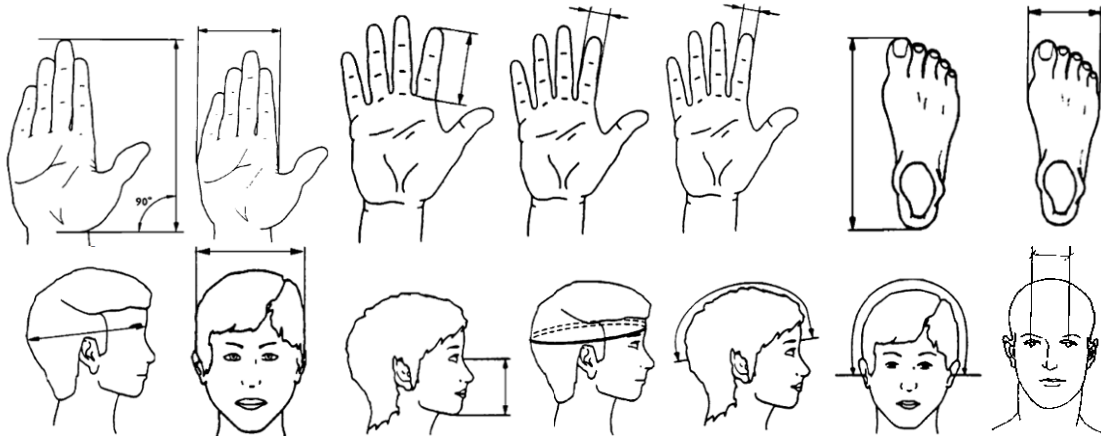


Figura 8.6. Localización de las medidas de segmentos del cuerpo. En la primera fila de izquierda a derecha: Longitud de la mano, Anchura de la mano en los metacarpiños, Longitud del dedo índice, Anchura proximal del dedo índice, Anchura distal del dedo índice, Longitud del pie y Anchura del pie. En la segunda fila de izquierda a derecha: Longitud de la cabeza, Anchura de la cabeza, Longitud de la cara (nasion-mentón), Perímetro de la cabeza, Arco sagital de la cabeza, Arco bitragial y Distancia interpupilar (medida no recogida en la norma) [110].

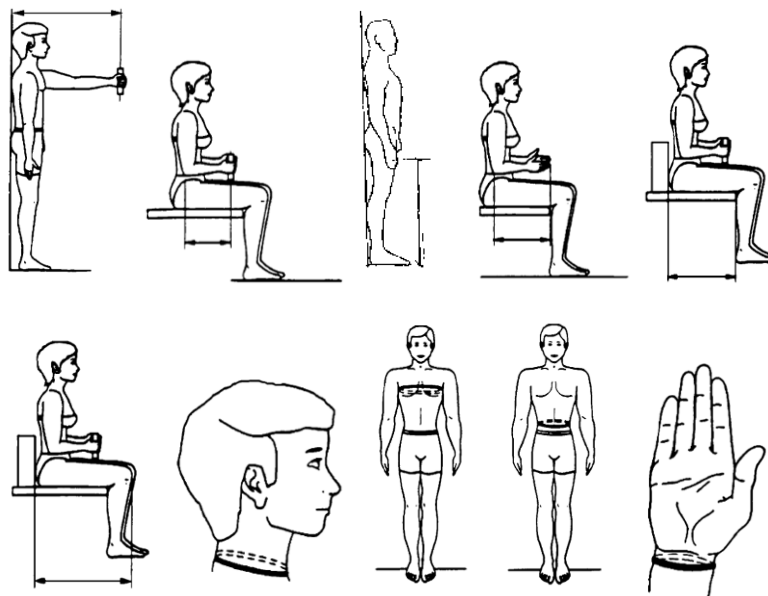


Figura 8.7. Localización de las medidas funcionales. En la primera fila de izquierda a derecha: Alcance máximo horizontal (puño cerrado), Longitud codo-puño, Altura del tercer metacarpiño (medida no recogida en la norma, se considera equivalente a Altura del puño (eje del puño) recogida en la norma), Longitud codo-punta de los dedos y Longitud poplíteo-trasero (profundidad del asiento). En la segunda fila de izquierda a derecha: Longitud rodilla-trasero, Perímetro del cuello, Perímetro del pecho (Perímetro torácico), Perímetro de la cintura y Perímetro de la muñeca [110].

Al definirse la posición del piloto al principio de este apartado, se procede a determinar el espacio ocupado por el piloto en dicha posición, para ello se toman de la Tabla 8.1 los parámetros que permiten realizar dicho cálculo: 2. Estatura (altura del cuerpo) 1525 mm; 4. Altura de los hombros 1256 mm; 8. Espesor del pecho, de pie 208 mm; 9. Espesor abdominal, de pie 168 mm; 18. Anchura de hombros, biacromial 304 mm; 19. Anchura entre codos 367 mm; 20. Anchura de caderas, sentado 316 mm; 26. Anchura de la palma de la mano (en metacarpianos) 72 mm; 30. Longitud del pie 221 mm; 31. Ancho del pie 84 mm; 32. Longitud de la cabeza 173 mm; 33. Anchura de la cabeza 132 mm; 39. Alcance máximo horizontal (Puño cerrado) 606 mm.

Recogiéndose en el anexo II el desarrollo matemático que ha conducido a la obtención de las medidas recogidas en la Tabla 8.2 y que permiten determinar el espacio ocupado por el piloto en la posición de conducción, a fin de facilitar su empleo en la realización del modelo del piloto.

DIMENSIÓN	MEDIDA (mm)
Cotas longitudinales	
Longitud total	1500
Inicio espesor pecho (desde el extremo superior)	230
Longitud cabeza	280
Fin espesor pecho (desde el extremo superior)	430
Situación de la cadera y del final de la mano (desde el extremo superior)	780
Situación del tobillo (desde el extremo inferior)	100
Espesor de los pies (desde el extremo inferior)	50
Cotas transversales	
Ancho total	410
Ancho de caderas	320
Distancia entre los puntos más externos de los pies	260
Distancia entre los puntos más internos de los pies	84
Ancho de la cabeza del piloto con casco	240
Cotas verticales	
Altura total	410
Profundidad hombros (en el extremo superior)	90
Espesor pecho	210
Espesor abdomen (a la altura de la cadera)	170
Ancho mano	80
Espesor tobillo	80
Altura en los pies	240

Tabla 8.2. Dimensiones del espacio ocupado por el piloto en la posición de conducción.

Con los valores de la Tabla 8.2 se ha realizado un modelo tridimensional del piloto, apreciándose en la Figura 8.8 la representación en planta, en la Figura 8.9 la vista lateral, en la Figura 8.10 la vista frontal y en la Figura 8.11 la representación isométrica del modelo del piloto.

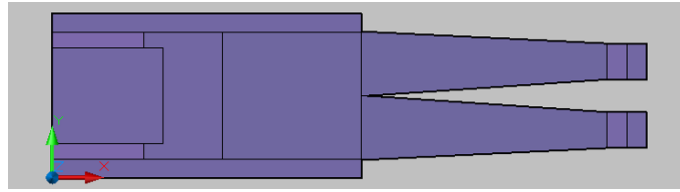


Figura 8.8. Representación esquemática de la posición del piloto. Vista en planta.

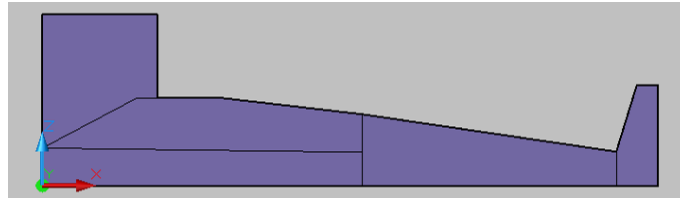


Figura 8.9. Representación esquemática de la posición del piloto. Vista de perfil.

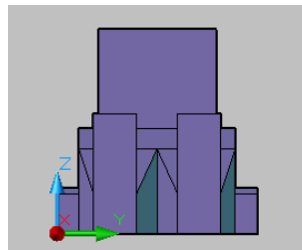


Figura 8.10. Representación esquemática de la posición del piloto. Vista frontal.

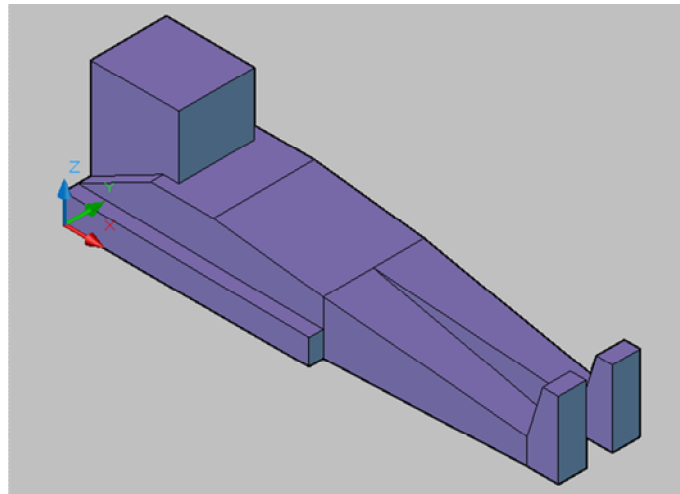


Figura 8.11. Representación esquemática de la posición del piloto. Vista isométrica.

Una vez definido el piloto, se procede a estimar la posición de la barra antivuelco. Dicha barra según normativa debe estar situada 5 cm por encima de la parte más alta del casco del piloto. Como la altura del piloto con el casco es de 410 mm, entonces la parte inferior de la barra antivuelco debe situarse a 460 mm del piso del prototipo y a fin de facilitar la salida del piloto se considera 5 cm por detrás del piloto.

8.3. Cargas soportadas por la estructura:

A fin de diseñar adecuadamente la estructura hay que conocer las cargas que debe soportar.

8.3.1. Distribución de masas del piloto:

De todas las cargas que se debe soportar la estructura, la masa del piloto es la más importante. Al no ser uniforme la densidad del cuerpo humano se ha decidido dividir el cuerpo del piloto en distintas secciones con sus masas correspondientes. Para la obtención de dichos valores, al no estar definidos ni el piloto ni el piloto suplente, se ha decidido emplear la tabla de densidades que referencia Pablo Blanco Esteban en su proyecto [13] y que en el presente documento se recoge como Tabla 8.3. Al ser la masa corporal, según los datos antropométricos de la población laboral española recogidos en la Tabla 8.1, para las dimensiones consideradas del piloto de 51,0 kg se procede a calcular en base a las relaciones indicadas en la Tabla 8.3 los pesos correspondientes a las distintas partes del cuerpo humano, empleando la aproximación de $1 \text{ kg} = 10 \text{ N}$ que simplifica de forma notable los valores de los pesos y además produce una ligera mayoración de las cargas consideradas. Para la determinación del significado de los términos empleados en la definición de los diferentes segmentos del cuerpo humano se han empleado los apuntes de la asignatura Introducción a la antropología física del profesor Armando González de la Universidad Autónoma de Madrid [43].

En el anexo III se detalla la obtención del peso de cada parte del piloto y de la equipación correspondiente teniendo en cuenta que todas las relaciones recogidas en la Tabla 8.3 tienen la estructura:

$$P_i = f_i \cdot P_t, \quad \text{Ecuación 8-1}$$

siendo,

P_i el peso del segmento i del cuerpo del piloto

f_i el factor de proporcionalidad entre el peso del segmento i y el peso total del piloto

P_t el peso total del piloto

Obteniendo los resultados recogidos en la Tabla 8.4.



SEGMENTO	DEFINICIÓN	PESO SEGMENTO/ PESO TOTAL CUERPO	CENTRO MASA/LONGITUD SEGMENTO		RADIO DE GIRO/LONGITUD SEGMENTO			DENSIDAD
			PROXIMAL	DISTAL	CENTRO DE MASA	PROXIMAL	DISTAL	
MANO	Eje muñeca/Nudillo II del dedo corazón	0,006 M	0,506	0,494 P	0,297	0,587	0,577 M	1,16
ANTEBRAZO	Eje codo/Apófisis estiloides del cúbito	0,016 M	0,43	0,570 P	0,303	0,526	0,647 M	1,13
BRAZO	Cabeza del húmero /Eje codo	0,028 M	0,436	0,564 P	0,332	0,542	0,645 M	1,07
ANTEBRAZO Y MANO	Eje codo/Apófisis estiloides del cúbito	0,022 M	0,682	0,318 P	0,468	0,827	0,565 P	1,14
TODO EL BRAZO	Cabeza del húmero/Apófisis estiloides del cúbito	0,050 M	0,53	0,470 P	0,368	0,645	0,595 P	1,11
PIE	Maléolo externo/Cabeza metatarso II	0,0145 M	0,5	0,50 P	0,475	0,69	0,69 P	1,1
PIERNA	Cóndilo femoral/Maléolo medio	0,0465 M	0,433	0,587 P	0,302	0,528	0,643 M	1,09
MUSLO	Gran trocánter/Cóndilo femoral	0,100 M	0,433	0,567 P	0,323	0,54	0,653 M	1,05
PIE Y PIERNA	Cóndilo femoral/Maléolo medio	0,061 M	0,606	0,394 P	0,416	0,735	0,572 P	1,09
TODA LA PIERNA	Gran trocánter/Maléolo medio	0,161 M	0,447	0,553 P	0,326	0,56	0,650 P	1,06
CABEZA Y CUELLO	C7-T1 y primera costilla/Canal del oído	0,081 M	1	- PC	0,495	1,116	-	1,11
HOMBROS	Unión clavícula- esternón/Cabeza del húmero	-	0,172	0,288	-	-	-	1,04
TÓRAX	C7-T1/T12-L1 y diafragma *	0,216 PC	0,82	0,18	-	-	-	0,92
ABDOMEN	T12-L1/L4-L5 *	0,139 LC	0,44	0,56	-	-	-	-
PELVIS	L4-L5/Trocánter mayor *	0,142 LC	0,105	0,895	-	-	-	-
TORAX Y ABDOMEN	C7-T1/L4-L5 *	0,355 LC	0,63	0,37	-	-	-	-
ABDOMEN Y PELVIS	T12-L1/Trocánter mayor	0,281 PC	0,27	0,73	-	-	-	1,01
TRONCO	Gran trocánter/Cabeza del húmero *	0,497 M	0,5	0,5	-	-	-	1,03
TRONCO, CABEZA Y CUELLO	Gran trocánter/Cabeza del húmero *	0,578 MC	0,66	0,34 P	0,503	0,83	0,607 M	-
HAT	Gran trocánter/Cabeza del húmero *	0,678 MC	0,626	0,374 PC	0,496	0,798	0,621 PC	-
HAT	Gran trocánter/Mitad de las costillas	0,678	1,142	-	0,903	1,456	-	-

NOTA: Los segmentos * se presentan relativos a la longitud entre el trocánter mayor y la cabeza superior del húmero

Tabla 8.3. Datos antropométricos del peso de distintos segmentos del cuerpo humano [13].

Parte del cuerpo	Peso corporal (N)	Peso equipamiento (N)	Peso total (N)	Peso redondeado (N)
Mano	3,06	0,05	3,11	3,5
Antebrazo	8,16	0,25	8,41	9
Brazo	14,28	0,25	14,53	15
Pie	7,395	3	10,395	11
Pierna	23,715	0,5	24,215	25
Muslo	51,0	0,5	51,5	52
Cabeza y cuello	41,31	15	56,31	57
Tronco	253,47	2	255,47	256

Tabla 8.4. Pesos de las distintas partes del cuerpo del piloto junto con los pesos de la equipación necesaria.

Para la obtención de los centros de gravedad de cada una de las partes del cuerpo del piloto definidas en la Tabla 8.4 se emplean los datos antropométricos de la población laboral española recogidos en la Tabla 8.1. Resultando los valores recogidos en la Tabla 8.5 cuya obtención se detalla en el anexo IV. Las dimensiones de los centros de gravedad se han medido tomando el origen en el punto medio del extremo superior del piloto a la altura del piso del prototipo.

Parte del cuerpo	Coordenada longitudinal del centro de gravedad (mm)	Coordenada transversal del centro de gravedad (mm)	Altura del centro de gravedad (mm)
Mano	760	185	40
Antebrazo	564,5	185	40
Brazo	335	185	40
Pie	1450	84	110
Pierna	1301	84	60
Muslo	877	80	56
Cabeza y cuello	86,5	0	275,5
Tronco	380	0	104

Tabla 8.5. *Coordenadas de los centros de gravedad de las distintas partes del cuerpo del piloto.*

En la Figura 8.12 se representan de forma isométrica los centros de gravedad de las distintas partes del piloto sobre el volumen del piloto.

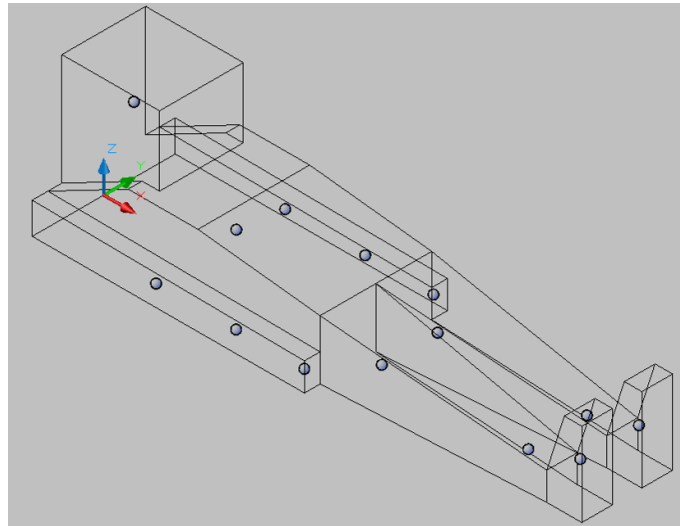


Figura 8.12. *Representación isométrica de los centros de gravedad de las partes del piloto.*

8.3.2. Cargas del sistema motriz:

Las cargas más importantes del sistema motriz son el peso del motor, y el peso de la transmisión (embrague y piñón). Para todos los elementos directamente relacionados con el bastidor del prototipo se toma el origen en el centro del arco de seguridad a la altura de la calzada con el eje x orientado hacia los pies del piloto. Para el motor se ha considerado que el centro de gravedad se localiza en el centro del volumen ocupado por el elemento y para la transmisión se ha considerado que toda el peso se concentra en el embrague con lo que el centro de gravedad se sitúa en el punto medio del volumen del embrague. Recogiéndose en la Tabla 8.6 los pesos y coordenadas del centro de gravedad de estos elementos.

Elemento	Peso (N)	Coordenada x del centro de gravedad (mm)	Coordenada y del centro de gravedad (mm)	Coordenada z del centro de gravedad (mm)
Motor en orden de marcha	33	-580,5	0	255,0
Transmisión	12	-580,5	-150	255,0

Tabla 8.6. Pesos y coordenadas del centro de gravedad de los elementos del sistema motriz.

8.3.3. Cargas de la dirección:

Para el sistema directriz el peso más importante es el del sub-bastidor trasero, al aplicarse las cargas del sistema motriz sobre el sub-bastidor se ha optado por modelarlo junto con el bastidor. El peso del sub-bastidor se considerará como peso propio de la estructura a la hora de modelarla.

8.3.4. Otras cargas:

La normativa [97] recoge la obligatoriedad de disponer de un extintor de 1 kg de carga, según un fabricante la masa del extintor completo con esa carga de material extintor es de 2,15 kg [46]. Además de las masas consideradas, es necesario tener en cuenta la masa de la carrocería que se ha estimado en 21 kg, la masa del asiento que se calcula en el anexo VII y se introduce en forma de carga distribuida en los análisis, despreciándose las masas de los elementos no considerados.

Elemento	Peso (N)	Coordenada x del c. de g. (mm)	Coordenada y del c. de g. (mm)	Coordenada z del c. de g. (mm)
Extintor	21,5	0	0	170,0
Carrocería	210	558,0	0	444,0

Tabla 8.7. Pesos y coordenadas del centro de gravedad de otros elementos del prototipo.

8.4. Ensayos a los que se somete la estructura por normativa:

En la normativa de la competición [97] se recogen las distintas pruebas que debe soportar el prototipo para ser considerado apto para la participación en la competición. Estos ensayos son: resistencia de la barra antivuelco, resistencia cinturones de seguridad y del sistema de frenado.

8.4.1. Ensayo de resistencia de la barra antivuelco:

En el artículo 26 del capítulo I de la normativa de la competición [97], en su apartado d se recoge que se verificará la aptitud de la barra antivuelco mediante la colocación de una carga estática de 700 N (~70 kg) en dirección vertical, horizontal o perpendicular sin que se produzca

deformación alguna en cualquier dirección. Por ello, a la hora de diseñar la estructura del prototipo hay que someterla a varios ensayos. El primero con la carga en la dirección vertical y sentido hacia el piso, el segundo con la carga en la dirección vertical y sentido hacia el cielo, el tercero con la carga en la dirección horizontal (transversal al eje del vehículo) y sentido hacia la derecha, el cuarto con la carga en la dirección horizontal (transversal al eje del vehículo) y sentido hacia la izquierda, el quinto con la carga en la dirección perpendicular (longitudinal al vehículo) y sentido el de avance, y el sexto con la carga en la dirección perpendicular (longitudinal al vehículo) y sentido el de retroceso. Los ensayos se desarrollaran al implementarlos en el programa de elementos finitos empleado para el análisis del bastidor.

8.4.2. Ensayo de los cinturones de seguridad :

En el artículo 29 del capítulo I de la normativa [97], en su apartado *e* se recoge que el ensayo de resistencia de los cinturones de seguridad será la elevación del prototipo, con el piloto montado, a través de los cinturones de seguridad. Además en el apartado *f* del mismo artículo se recoge que los cinturones deben soportar 1,5 veces el peso del piloto. Teniendo en cuenta las condiciones impuestas por los apartados *e* y *f* del artículo 29 de la normativa, se decide realizar tres ensayos. El primero considerando el prototipo colgado de los soportes de los cinturones, el segundo considerando el caso de un deslizamiento hacia delante del piloto y el tercero un desplazamiento hacia arriba del piloto. Dichos ensayos se desarrollaran al realizar el análisis por elementos finitos.

8.4.3. Ensayo del sistema de frenado:

En el artículo 43 del capítulo I de la normativa [97], en el apartado *e* se recogen las condiciones para la realización de los ensayos del sistema de frenado, consistiendo en la inmovilidad del prototipo en una pendiente del 20% con el piloto montado y los frenos pisados, un eje cada vez. Se simula la estructura en las condiciones del ensayo bloqueando un eje en cada ensayo.

8.5. Ensayos a los que se somete la estructura por diseño:

Además de los ensayos debidos a la normativa de la competición, es conveniente analizar otras situaciones como son la entrada y salida del piloto y las condiciones normales de circulación.

8.5.1. Ensayo en condiciones normales de circulación:

Se reproduce la situación del piloto en el vehículo circulando en una recta a velocidad constante.

8.5.2. Ensayo de entrada y salida del piloto:

Otra cuestión que no se tiene en cuenta en la normativa, y que de no comprobarse puede dar lugar a ciertos problemas, es la entrada y salida del piloto, en concreto cuando todo el peso del piloto o la mayor parte del mismo debe descansar sobre el pie situado en el interior del prototipo. Por la posición del piloto dentro del prototipo es necesario que ponga los pies en zonas que no tienen por que soportar dichas cargas. Por ello, se considerará el piloto como una carga puntual situada en el punto que se considere más probable de entrada del piloto y que se marcará claramente en el prototipo. Como en el caso de los ensayos por normativa este ensayo se definirá más en detalle al analizar la estructura por el método de los elementos finitos.

8.6. Análisis de estabilidad del prototipo:

Antes iniciar el diseño de la estructura del prototipo es conveniente verificar que la configuración elegida de las masas es estable tanto en recta como en curva. Para ello, se calcula el centro de gravedad del prototipo con las masas y centros de gravedad calculados en los apartados previos, estimándose el peso del asiento y el peso del bastidor del prototipo. Resultando una cota longitudinal del centro de gravedad del prototipo de 925,6 mm, una cota transversal de -1,5 mm y cota vertical de 389,3 mm; estando situado el origen de coordenadas en el punto de contacto de la rueda trasera con la calzada. Desglosándose en la Tabla 8.8 los datos de los centros de gravedad de todos los elementos del prototipo.

Elemento	Peso (N)	Coordenada x del c. de g. (mm)	Coordenada y del c. de g. (mm)	Coordenada z del c. de g. (mm)
Piloto	544,0	1005,7	0	363,9
Asiento	10,0	1005,7	0	353,9
Extintor	21,5	375,0	0	170,0
Motor	33,5	269,0	-65	519,0
Transmisión	12,0	269,0	65	519,0
Carrocería	210,0	933,0	0	444,0
Estructura	86,3	877,0	0,0	406,5
Prototipo	917,3	925,6	-1,5	389,3

Tabla 8.8. Peso y coordenadas del centro de gravedad del prototipo.

8.6.1. En recta:

La estabilidad en recta del vehículo, al estar situado el centro de gravedad del prototipo en el interior del triángulo formado por las zonas de contacto de las tres ruedas del prototipo con la calzada, solo se ve afectada por las aceleraciones y las frenadas. Por ello, se procede a determinar la aceleración límite de vuelco y la deceleración límite de vuelco mediante los desarrollos matemáticos recogidos en el anexo V. La aceleración límite de vuelco del prototipo es de 23,91 m/s^2 y la deceleración límite de vuelco es de 6,91 m/s^2 como se recogen en la Tabla 8.9, siendo ambos valores inferiores a los que alcanza el prototipo en circulación.

Aceleración límite de vuelco (m/s^2)	Deceleración límite de vuelco (m/s^2)
23,17	6,91

Tabla 8.9. Aceleración y deceleración límite de vuelco para el prototipo.

8.6.2. En curva:

La estabilidad en curva se ha calculado considerando el paso del prototipo por una curva sin peralte a velocidad constante, que aunque no es la peor situación a la que se enfrentaría el prototipo permite conocer el margen de maniobra que se tiene durante la trazada de una determinada curva. Además, en el circuito en el que se realiza la competición las curvas son de estas características y algunas presentan un ligero contraperalte. En el anexo VI se recoge el procedimiento de obtención de la relación entre el radio de la curva y la velocidad límite de vuelco al tomar dicha curva. Como el centro de gravedad del prototipo está ligeramente desplazado del eje longitudinal del vehículo es necesario tener en cuenta el sentido de la curva a la hora de determinar la velocidad límite de vuelco. En la Tabla 8.10 se recogen las velocidades de vuelco tanto en m/s como en km/h para curvas de radio constante desde 1 metro hasta 20 metros.

En la normativa de la competición [97] se recoge que el radio mínimo de giro de un prototipo en Europa debe de ser menor a 10 metros y se reducirá este valor hasta los 6 metros, por lo tanto para que el diseño sea duradero el vehículo debe ser estable en curvas menores de 6 metros. Observando el trazado del circuito [84] se ha determinado que la curva de menor radio es de 6 metros, luego en condiciones de carrera es difícil que el piloto deba realizar un giro de menos de 6 metros de radio. Por tanto, se puede concluir que con los datos recogidos en la Tabla 8.9 y la

Tabla 8.10 que el prototipo es estable aunque en circulación en curvas cerradas se encuentra bastante próxima la velocidad límite de vuelco a la velocidad de circulación.

Radio de la curva (m)	Giro a Izquierdas		Giro a Derechas	
	Velocidad de vuelco (m/s)	Velocidad de vuelco (km/h)	Velocidad de vuelco (m/s)	Velocidad de vuelco (km/h)
1	2,6261	9,4541	2,6410	9,5076
2	3,7139	13,3701	3,7349	13,4457
3	4,5486	16,3749	4,5743	16,4676
4	5,2523	18,9081	5,2820	19,0151
5	5,8722	21,1399	5,9054	21,2596
6	6,4327	23,1576	6,4691	23,2887
7	6,9481	25,0131	6,9874	25,1546
8	7,4278	26,7401	7,4698	26,8914
9	7,8784	28,3622	7,9230	28,5227
10	8,3045	29,8964	8,3515	30,0656
11	8,7099	31,3556	8,7592	31,5330
12	9,0972	32,7498	9,1487	32,9352
13	9,4686	34,0871	9,5222	34,2800
14	9,8261	35,3739	9,8817	35,5740
15	10,1710	36,6154	10,2285	36,8226
16	10,5045	37,8162	10,5640	38,0303
17	10,8278	38,9801	10,8891	39,2007
18	11,1417	40,1102	11,2048	40,3372
19	11,4470	41,2093	11,5118	41,4425
20	11,7444	42,2799	11,8109	42,5191

Tabla 8.10. *Velocidades límite de vuelco para el prototipo en función del radio y sentido de la curva.*

8.7. Diseños de la estructura:

En base a las restricciones y análisis recogidos en los epígrafes previos se han desarrollado tres diseños, denominados de la siguiente forma: estructura, número de la misma, versión; por ejemplo: estructura 1.0 para la versión inicial de la estructura correspondiente al primer diseño.

8.7.1. Estructura 1.0:

Presenta dos largueros inferiores separados 20 cm, dos largueros superiores a unos 15 cm por encima de los inferiores y que se sitúan lo más cerca de la carrocería que sea posible. Estos cuatro largueros se unen formando la estructura mediante un arco frontal, el eje y el arco de seguridad. Entre los largueros inferiores en el punto medio del tramo situado entre el eje y el arco de seguridad se unen con un travesaño dichos largueros. Por detrás del arco de seguridad, se sitúan las barras encargadas de soportar la horquilla trasera. Soportando el respaldo del asiento hay dos barras que unen la parte superior del arco de seguridad con los largueros inferiores junto con otro travesaño entre ellas. En la Figura 8.13 se realiza una representación en planta de la estructura donde se aprecia la disposición de los largueros y travesaños indicados.

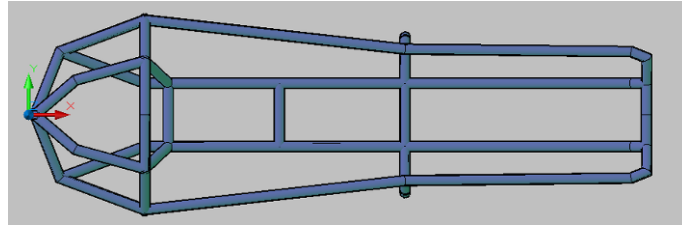


Figura 8.13. *Representación en planta de la estructura 1.0.*

En la vista en perfil de la estructura, en la Figura 8.14, se puede apreciar la distancia entre los largueros inferiores y los superiores, las distintas barras que los unen, así como la disposición de las barras que soportan el eje vertical de giro dejando hueco para el desplazamiento del motor.

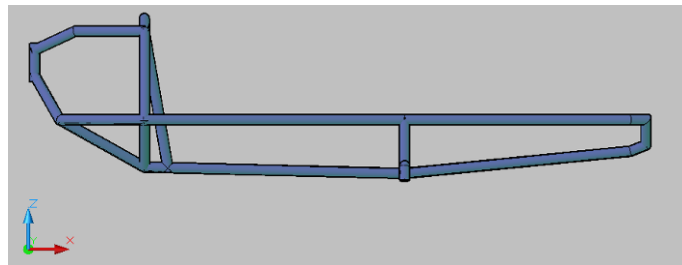


Figura 8.14. *Representación en perfil de la estructura 1.0.*

En el alzado de la estructura, recogido en la Figura 8.15, se aprecia como debido a la forma de la carrocería los distintos travesaños se sitúan a distintas alturas y el arco de seguridad está formado por las barras más externas de toda la estructura protegiendo al piloto.

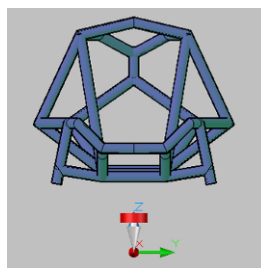


Figura 8.15. *Representación en alzado de la estructura 1.0.*

Por último, a fin de visualizar toda la estructura se realiza una representación isométrica de la estructura desde el extremo delantero derecho en la Figura 8.16. Para la realización del modelo representado de la estructura 1.0 se ha decidido emplear barras de 30 mm de diámetro.

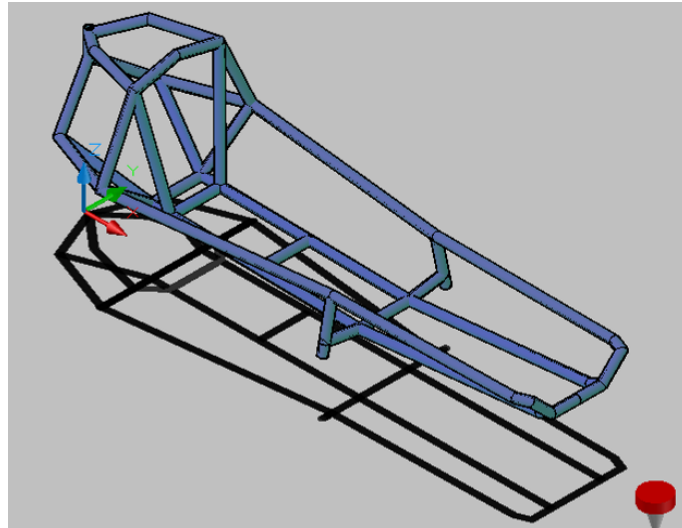


Figura 8.16. Representación isométrica de la estructura 1.0.

8.7.2. Estructura 2.0:

La segunda estructura es similar a la primera, situándose los largueros superiores a la altura del plano medio del carenado a fin de que las ruedas queden entre los largueros superiores y los largueros inferiores. Al elevarse los largueros superiores no es posible que sean coplanares con los soportes inferiores de la horquilla trasera al estar limitada su situación por el motor. En la vista en planta de la estructura, representada en la Figura 8.17 se puede observar como los largueros superiores de esta estructura se encuentran más cerca de la forma de la carrocería permitiendo un mayor espacio interior, siendo las barras empleadas para el modelo de 30 mm de diámetro.

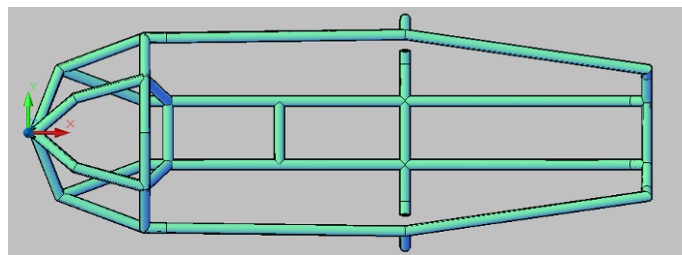


Figura 8.17. Representación en planta de la estructura 2.0.

En la vista en perfil de la estructura 2.0, en la Figura 8.18, se aprecia la posición más elevada de los largueros superiores con lo que no es posible hacer coincidentes los soportes horizontales del eje vertical con dichos largueros. En la Figura 8.19 se representa el alzado de la estructura 2.0, apreciándose los cambios de los largueros superiores, en el eje y en la barra frontal. Y en la Figura 8.20 se aprecia una representación isométrica de la estructura 2.0.

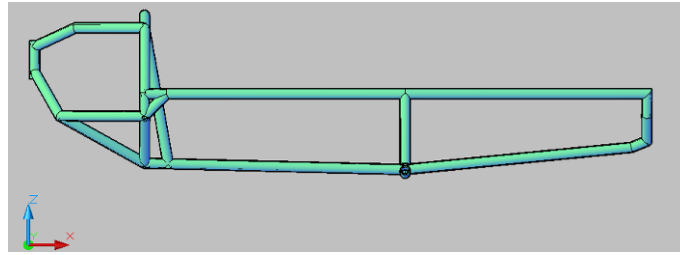


Figura 8.18. Representación en perfil de la estructura 2.0.

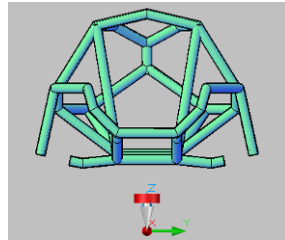


Figura 8.19. Representación en alzado de la estructura 2.0.

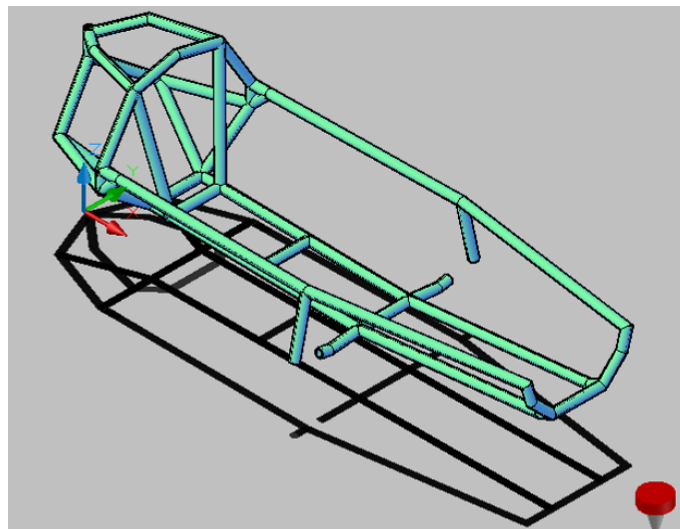


Figura 8.20. Representación isométrica de la estructura 2.0.

8.7.3. Estructura 3.0:

La tercera estructura se ha diseñado partiendo de la premisa de emplear un bastidor de tubo central. Al tener una sola rueda trasera es necesario bifurcar el larguero inferior a la altura del travesaño para dejar espacio para el giro de la rueda trasera. En esta estructura el travesaño une los dos largueros superiores con el larguero inferior. En la Figura 8.21 se aprecia la vista en planta de la estructura 3.0 y sus diferencias con respecto a las otras dos estructuras. En la vista en perfil de la Figura 8.22, se observa la posición más baja del larguero inferior. En el alzado, Figura 8.23,

se aprecia como el uso de un solo larguero inferior afecta al diseño de la barra frontal y al resto de travesaños. En la Figura 8.24 se representa, la vista isométrica de la estructura.

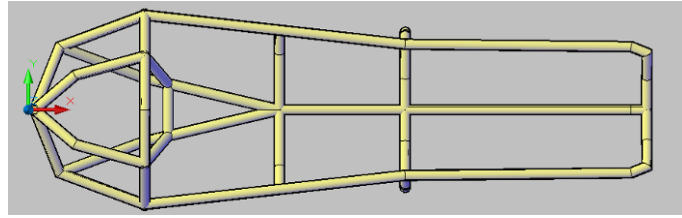


Figura 8.21. *Representación en planta de la estructura 3.0.*

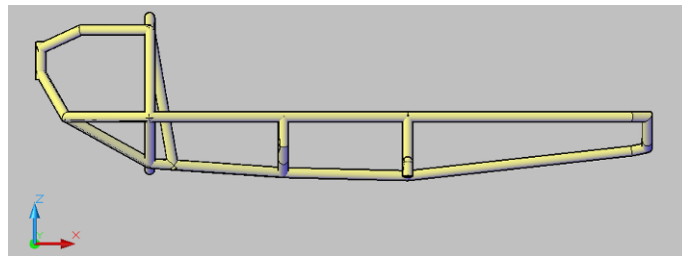


Figura 8.22. *Representación en perfil de la estructura 3.0.*

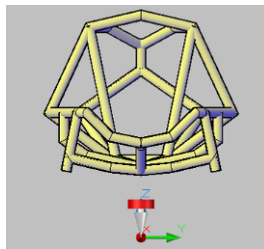


Figura 8.23. *Representación en alzado de la estructura 3.0.*

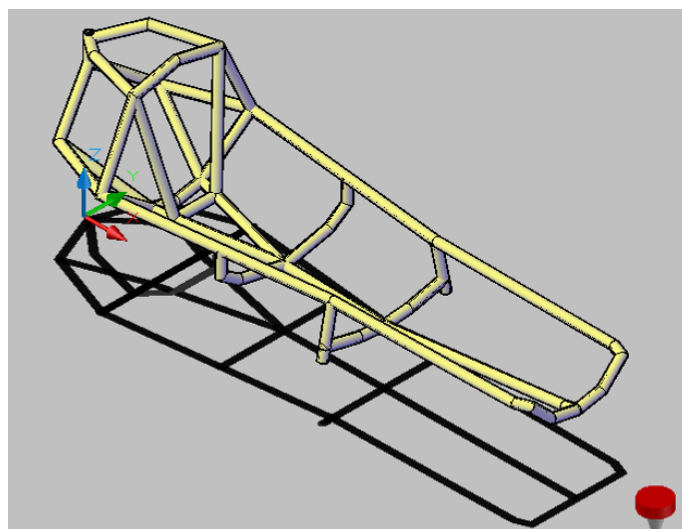


Figura 8.24. *Representación isométrica de la estructura 3.0.*

8.8. Selección del material de la estructura:

Definidas las estructuras que se analizarán en el presente proyecto, se procede a determinar el material más adecuado para su construcción. Para ello, se analizan todos los tipos de materiales en función de la siguiente clasificación: material cerámico, material metálico, material polimérico y material compuesto. Una vez determinada la familia de materiales se va emplear, se define la aleación o composición del material más adecuado para la fabricación de la estructura.

Idealmente el material de la estructura del prototipo debe ser ligero, resistente, fácil de unir de forma permanente con una unión resistente, en caso de colisión debe absorber parte de la energía del impacto deformándose de forma dúctil, no debe producir astillas que puedan dañar al piloto, además debe de ser un material tal que sea posible sujetar otros elementos de forma sencilla.

8.8.1. Materiales Cerámicos:

La primera familia de materiales a tener en cuenta son los materiales cerámicos. Se definen como materiales inorgánicos constituidos por elementos metálicos y no metálicos unidos mediante enlaces iónicos y/o covalentes. Sus principales propiedades son: dureza, fragilidad, baja tenacidad, baja ductilidad, gran resistencia a la compresión, estabilidad química, alta temperatura de fusión, así como baja conductividad térmica y eléctrica. Su estructura interna puede ser regular como el diamante o amorfa como el vidrio [24]. Comparando las propiedades de los materiales cerámicos con las deseadas para el material de la estructura se ha decidido descartar su empleo.

8.8.2. Materiales Metálicos:

Los siguientes materiales a analizar son los materiales metálicos. Se definen como materiales inorgánicos constituidos por elementos metálicos unidos mediante enlace metálico formando estructuras cristalinas, pudiendo incluir otros elementos formando parte o no de la estructura cristalina. A los materiales con más de un elemento metálico o con una cantidad apreciable de otros elementos que altere sus propiedades, se les denomina aleaciones. Sus principales propiedades son: apariencia lustrosa; solidez a temperatura ambiente, salvo excepciones como el mercurio; alta conductividad térmica y eléctrica; maleabilidad y ductilidad [20].

Entre todos los metales y aleaciones metálicas existentes los más adecuados para uso estructural, debido a sus propiedades, son: las aleaciones de hierro (en concreto los aceros), titanio y aluminio.

Los aceros presentan una gran resistencia a la tracción, una buena soldabilidad, la posibilidad de modificar mediante tratamientos térmicos sus propiedades mecánicas y los aceros más comunes presentan un bajo coste. Su densidad es mucho mayor que la del aluminio o la del titanio.

El titanio y sus aleaciones presentan resistencias del orden del acero lo que unido a su menor densidad, lo hace idóneo para la construcción de la estructura del prototipo. El titanio tiene un coste muy elevado a consecuencia del elevado consumo energético necesario para su purificación, su mecanizado es complejo e incluso su soldadura es difícil.

El aluminio presenta unas adecuadas propiedades mecánicas que pueden ser modificadas mediante tratamientos térmicos y la adición de aleantes, presenta una de las densidades más bajas de los metales y actualmente gracias al empleo de aluminio reciclado su precio es bastante asequible, aunque superior al del acero. En cambio, presenta una compleja soldadura. Para uso estructural las aleaciones de aluminio con las propiedades más adecuadas, al ser tratables térmicamente, son las correspondientes a las series 2000, 6000 y 7000. La serie 2000, que es la denominación normalizada de las aleaciones cobre-aluminio entre las que se incluyen los “duraluminios” (aleaciones Al-Cu-Mg), presenta una resistencia mecánica elevada, baja resistencia a la corrosión y una soldabilidad limitada. La serie 6000, que son las aleaciones Al-Mg-Si, presenta una resistencia mecánica media aunque inferior a las series 2000 y 7000 con la ventaja de una buena soldabilidad. Y la serie 7000, que son las aleaciones Al-Zn-Mg-Cu, presenta una resistencia mecánica de moderada a elevada y una buena resistencia a fatiga [25].

Comparando las características de los aceros y las aleaciones de aluminio y titanio con las del material ideal para la estructura se considera que estos materiales se ajustan a dichas propiedades.

8.8.3. *Materiales Poliméricos:*

Los materiales poliméricos son los siguientes a analizar. Se definen como compuestos orgánicos, naturales o sintéticos, de elevado peso molecular constituidos por unidades estructurales repetitivas denominadas monómeros. Siendo sus principales propiedades: baja temperatura de

fusión, elevada ductilidad, baja densidad, alta resistencia química, así como baja conductividad eléctrica y térmica.

Dentro de los materiales poliméricos existen tres clases diferenciadas con propiedades mecánicas distintas (termoplásticos, termoestables y elastómeros). Estos últimos presentan una alta elasticidad y un bajo modulo elástico que permite que se deformen con gran facilidad bajo cargas pequeñas no siendo adecuados para uso estructural. Los termoestables presentan un modulo elástico del orden de 10 GPa con una deformación del orden del 4% lo que los hace adecuados para uso estructural, aunque presentan el inconveniente de que deben ser modelados con la forma final de la pieza implicando su fabricación bajo pedido. Los termoplásticos presentan un modulo elástico del orden del GPa, una mayor sensibilidad a la temperatura al presentar una baja temperatura de fusión reduciendo significativamente sus aptitudes para uso estructural [24]. Además, es muy frecuente que los materiales poliméricos presenten comportamiento viscoelástico o viscoplásticos. Por tanto, se ha descartado el empleo de materiales poliméricos.

8.8.4. *Materiales Compuestos:*

La última familia de materiales a analizar son los materiales compuestos. Se definen como aquellos materiales formados por dos, o más, materiales distintos que presentan algunas propiedades físicas determinadas superiores a las de los materiales que lo constituyen [61].

Los materiales compuestos se pueden clasificar en función del material que constituye su matriz, siendo estas matrices: polimérica, cerámica y metálica. Empleándose refuerzos por fibras (largas o cortas) o por partículas, ya que a la hora de crear un material compuesto se busca mejorar algunas de las propiedades físicas o mecánicas de la matriz, normalmente en una dirección creando materiales anisótropos, es decir, materiales que tiene alguna propiedad que varía según la dirección en la que se realiza la medida de dicha propiedad [26] [28]. Al permitir ajustar sus propiedades en valor y dirección, son muy adecuados para la construcción de la estructura de un vehículo. Por otro lado, presentan el inconveniente de tener modelos de fractura muy complejos implicando el uso de altos factores de seguridad. Debido a su proceso de fabricación son más caros que el resto de materiales y presenta dificultades su unión con otros materiales. Además es más común su utilización en vehículos monocasco que en bastidores tubulares al ser mucho más eficiente su uso en monocascos. Por tanto, se descarta su empleo.

8.8.5. Material seleccionado:

Una vez definidas las características de los principales tipos de materiales se procede a determinar el más adecuado para su empleo en la realización de la estructura del prototipo. Como se indicó en los apartados correspondientes se ha descartado el empleo de los materiales cerámicos por su elevado peso y su mecanismo de fractura, se ha descartado el empleo de materiales poliméricos por su resistencia mecánica y por presentar comportamientos viscoelásticos o viscoplásticos, y los materiales compuestos se han descartado debido a la complejidad de su manejo, su elevado coste, a la dificultad que presentan para realizar uniones permanentes con otros materiales y a que son más adecuados para construir estructuras monocasco.

Por tanto, el material empleado en la realización de la estructura del prototipo será un material metálico, siendo el aluminio el más idóneo por su baja densidad y su coste no demasiado elevado. La aleación de aluminio más adecuada es de la serie 6000, al ser este tipo de aleaciones las empleadas en la fabricación de tubos por extrusión. Dentro de la serie 6000 se ha decidido emplear la aleación 6082 con el tratamiento térmico T6 que presenta las propiedades recogidas en la Tabla 8.11 por aunar las características de ligereza, resistencia y bajo coste recogidas en los objetivos de este proyecto. El tratamiento térmico T6 consistente en temple y maduración artificial, es decir, se calienta la pieza hasta cierta temperatura enfriándola bruscamente y manteniendo la pieza un tiempo determinado a una temperatura superior al ambiente.

Propiedades mecánicas de la aleación 6082 T6	
E , módulo de Young (GPa)	70
ρ , densidad (g/cm^3)	2,71
ν , coeficiente de Poisson	0,33
σ_e , límite elástico a 25 °C (MPa)	280
σ_{max} , tensión máxima (MPa)	315

Tabla 8.11. Propiedades de la aleación de aluminio 6082 T6 [2].

8.9. Selección del tipo de unión.

Los métodos de unión más empleados en la industria, como se indicaba en el apartado 6.2 del presente proyecto, son la soldadura, la unión adhesiva, el remachado y el atornillado. Siendo la

soldadura y la unión adhesiva los más adecuados para la realización de una estructura tubular. En el presente proyecto se ha decidido emplear la unión adhesiva por ser más económica, innovadora y no alterar térmicamente las barras a unir, garantizando la uniformidad de las propiedades del material empleado.

8.9.1. Selección del adhesivo más adecuado:

Para determinar el adhesivo más adecuado al material seleccionado y a las condiciones de trabajo de la unión se ha contactado con la empresa Loctite. Siendo los productos 9466 y 9514 los que dicha empresa ha considerado más adecuados para los materiales empleados. De estos adhesivos se ha seleccionado el 9514 al presentar una tensión máxima a tracción de 40MPa para la unión de aluminios mayor a la que presenta el otro compuesto. En la Figura 8.25 se recogen las principales características del Loctite 9514.

Propiedades mecánicas del adhesivo Loctite 9514	
K , modulo de compresibilidad (MPa)*	1,46
ε , elongación (%)*	2,71
σ_{tu} , Tensión de rotura a tracción (MPa)*	44
σ_{cu} , Tensión de rotura a compresión (MPa)*	62
$\sigma_{tu(al)}$, Tensión de rotura a tracción en sustratos de aluminio (MPa)**	40

* Valores medidos sobre una unión de 1,2 mm de espesor curada durante 30min a 150 °C.

** Prueba realizada a 22 °C en una unión curada durante 30min a 150 °C.

Figura 8.25. Características del Loctite 9514 [55].

A modo de comparación en un prototipo similar cuyo bastidor se ha realizado en aluminio unido mediante soldadura se considera una tensión máxima en las uniones de 50 MPa, como explica Irene García García en su proyecto fin de carrera [39].

9. Modelado y análisis mediante elementos finitos de la estructura:

Obtenido el diseño preliminar de las tres estructuras se procede a someterlas a los ensayos que se consideran necesarios a fin de determinar el diseño definitivo de la estructura más adecuada para el prototipo, empleando para ello el método de los elementos finitos.

9.1. Introducción.

Para la realización de los ensayos con el método de los elementos finitos se ha empleado el programa ANSYS, este método consiste en simular un sistema físico dividiéndolo en un número finito de subsistemas, cuya modelización matemática es conocida o fácil de calcular, de esta forma las infinitas incógnitas del sistema físico se reducen a un número finito. En el caso del cálculo estructural, las incógnitas del sistema son los desplazamientos de cada subsistema.

Los subsistemas en los que se divide el sistema físico se denominan elementos y su comportamiento interno viene regido por unas ecuaciones denominadas funciones de forma. Los puntos de unión de los elementos se denominan nodos, localizándose en estos los grados de libertad que determinan el desplazamiento de dichos nodos así como las incógnitas del sistema.

En el programa ANSYS los elementos estructurales se clasifican en:

- Elemento barra 3-D con tres grados de libertad por nodo (desplazamientos).
- Elementos viga 3-D con seis grados de libertad por nodo (desplazamientos y giros).
- Elemento sólido 2-D con dos grados de libertad por nodo (desplazamientos).

- Elemento lámina 3-D con seis grados de libertad por nodo (desplazamientos y giros).
- Elemento sólido 3-D con tres grados de libertad por nodo (desplazamientos).

Dependiendo de la función de forma se clasifican en lineales, cuadráticos o polinómicos.

El método de los elementos finitos requiere de la aplicación sobre los elementos, en concreto en los nodos, de los condicionantes del sistema físico que se denominan cargas y se clasifican en: restricciones de los grados de libertad, cargas puntuales, cargas sobre superficies, cargas volumétricas y fuerzas de inercia.

A la hora de resolver el sistema lineal de ecuaciones que representa el sistema a analizar, ANSYS permite elegir entre dos procedimientos de resolución, el *solver Frontal* y el *solver PCG (Gradiente Conjugado Precondicionado)*. El *solver Frontal* resuelve el sistema de ecuaciones aplicando el método de Gauss, permitiendo obtener un resultado si la matriz de rigidez no es singular, en caso de no obtenerse una solución informa donde puede estar el problema. El *solver PCG* resuelve el sistema de ecuaciones mediante métodos iterativos, se obtiene un resultado si la matriz de rigidez no está demasiado mal condicionada, en caso de no convergencia de la solución no indica donde puede estar el problema, siendo este *solver* mucho más rápido que el *solver Frontal* según aumenta la complejidad del análisis realizado, además de presentar un menor consumo de memoria [4] [6].

9.2. Creación de los modelos en elementos finitos.

Para la realización de los ensayos del presente proyecto se ha modelado las estructuras empleando elementos lineales. Esta elección se fundamenta en que al ser las estructuras bastidores tubulares es posible simplificar el modelo tridimensional con barras tridimensionales a un modelo tridimensional con barras unidimensionales, siendo la sección de las barras constante y no existir cargas que impidan dicha simplificación. Con ello se pierde precisión en los resultados, aunque permite reducir el coste computacional del modelo pudiendo realizar mayor número de ensayos en el mismo tiempo. Además se facilita la modificación de la estructura, al solo ser necesario cambiar las coordenadas de un punto o modificar los datos de una tabla.

Al referirse los ensayos mencionados en los apartados 8.4 y 8.5 del presente proyecto a situaciones aplicadas sobre el prototipo completo se ha decidido, como ya se indicó, añadir al

modelo los elementos que faciliten la realización de dichos ensayos, es decir, ruedas, ejes y subbastidor trasero, simplificados de forma que realicen su cometido aun obteniendo en ellos tensiones no reales.

Una vez definido el grado de simplificación del modelo se procede a introducir en el programa los datos necesarios para la realización de los ensayos en elementos finitos. Empezando por los materiales.

9.2.1. Materiales:

En el apartado 8.8.5 se determinó el material en que se va a realizar la estructura del prototipo, siendo este material la aleación de aluminio 6082 T6 cuyas propiedades se recogen en la Tabla 9.1.

Propiedades mecánicas de la aleación 6082 T6	
E , modulo de Young (GPa)	70
ρ , densidad (g/cm ³)	2,71
ν , coeficiente de Poisson	0,33
σ_e , límite elástico a 25 °C (MPa)	280
σ_{max} , tensión máxima (MPa)	315

Tabla 9.1. *Propiedades de la aleación de aluminio 6082 T6 [2].*

Se ha considerado que todos los elementos añadidos a la estructura son del mismo material del resto de la estructura aunque en la realidad no lo sean, como es el caso de las ruedas.

En el programa ANSYS se modeliza la aleación 6082 T6 en ANSYS como un material elástico lineal sin límite de rotura. Por ello, los datos introducidos en el programa son los recogidos en la Tabla 9.2, dejándose el límite elástico y la tensión de rotura para la comparación con los resultados obtenidos del análisis por elementos finitos.


Propiedades mecánicas de la aleación 6082 T6 introducidas en el modelo de elementos finitos	
E , modulo de Young (MPa)	70000
ρ , densidad (kg/mm ³)	$2,71 \cdot 10^{-6}$
ν , coeficiente de Poisson	0,33

Tabla 9.2. *Características del material introducidas en ANSYS.*


9.2.2. Selección del elemento finito:

Al emplearse un modelo lo más simplificado posible, los elementos finitos del ANSYS diseñados para este tipo de modelos son: BEAM 4, BEAM 24, BEAM 44, BEAM 161, BEAM 188, BEAM 189, PIPE 16 y PIPE 20 [4]. Eligiéndose el elemento BEAM 4 al ser el más simple de todos ellos y además estar sus resultados contrastados por trabajos anteriores, dejando el empleo del elemento PIPE 16, que es una simplificación del BEAM 4, para análisis futuros a fin de comprobar la similitud de los datos obtenidos con ambos elementos.

El elemento BEAM 4 es un elemento tipo barra con dos nodos. Para realizar el análisis es necesario introducir al programa los valores correspondientes a las dimensiones simplificadas, en este caso hay que definir la sección de la barra, siendo los valores necesarios para definir dicha sección: área de la sección transversal, momentos de inercia principales de la sección transversal y dimensiones máximas de la sección transversal. La obtención de estos datos se puede realizar mediante cálculo de áreas y momentos de inercia o mediante la definición de la sección en un apartado del programa que calcula los valores anteriormente enumerados, agilizando el proceso. Si se desea tener en cuenta la gravedad, como es el caso de los análisis que se van a realizar, es necesario introducir el valor de la masa por unidad de longitud. Dicho valor se recoge comercialmente en las tabla de características de los perfiles producidos por una empresa, en este caso se han considerado los perfiles de la empresa SAPA, apreciándose en la Figura 9.1 la forma en que se recoge este valor.



TUBO-REDONDO



TUBOS REDONDOS
ROUND TUBES
TUBES ROUNDS

[Volver Índice](#)

PERFIL REF.	MEDIDAS (mm)		FABRICA				PESO (kg/m)	PERÍMETRO (mm)			TOL. C/TOL
	A	B	PER	NAV	LS	AV		EXT.	INT.	TOTAL	
1.003.539	7	1,00			SI		0,051	22	16	38	C/TOL
1.001.814	8	1,00			SI		0,059	25	19	44	C/TOL
R.01	9	1,40				SI	0,092	28	19	48	
68.891	9,50	1,25	SI				0,087	30	22	52	

Figura 9.1. Masa por unidad de longitud en la tabla de perfiles que fabrica SAPA [76].

En ANSYS todos estos valores, tanto de la sección como la masa por unidad de longitud, se recogen en un apartado denominado Real Constants.

Por último, al emplearse un elemento tipo barra en el análisis por elementos finitos los componentes necesarios para la correcta realización de los ensayos que no podrían analizarse

empleando dicho elemento se han sustituido por conjuntos de barras. Esta decisión se ha tomado al considerarse que las tensiones en dichos elementos no influyen significativamente en los resultados de los análisis de la estructura a diseñar.

9.2.3. Modelos en elementos finitos de las estructuras:

Para realizar un modelo en ANSYS se pueden emplear dos métodos. El primero consiste en dibujarlo con las herramientas de dibujo existentes en ANSYS, es decir hay que crear los puntos principales cuyas coordenadas deben de ser conocidas y después crear las líneas o superficies entre dichos puntos. Este es un método ineficiente para crear los modelos debido al elevado coste temporal del mismo y a la dificultad de revertir ciertos cambios en el modelo, ya que ANSYS no dispone de la opción de deshacer un comando. El segundo método, que es el que se ha empleado en el presente proyecto, consiste en la importación de un modelo realizado en un programa de CAD, en este caso los programas AutoCAD y Solid Works, permitiendo una mayor rapidez ya que los programas mencionados están orientados al dibujo.

En el caso concreto de los modelos del presente proyecto, se crearon en AutoCAD, se pasaron a Solid Works y de este último programa a ANSYS ya que en las versiones que se han empleado no es posible realizar directamente la importación de un archivo de AutoCAD a ANSYS. De esta forma se han obtenido los modelos en ANSYS de la estructuras representados en la Figura 9.2, en la Figura 9.3 y en la Figura 9.4.

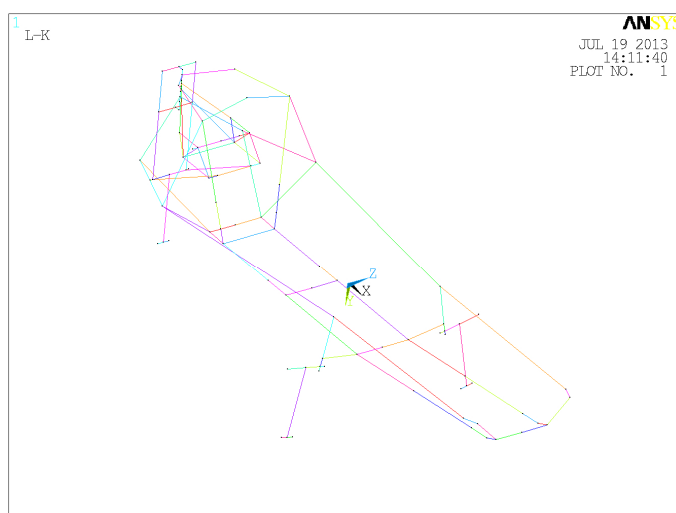


Figura 9.2. Modelo en ANSYS de la estructura 1.0.

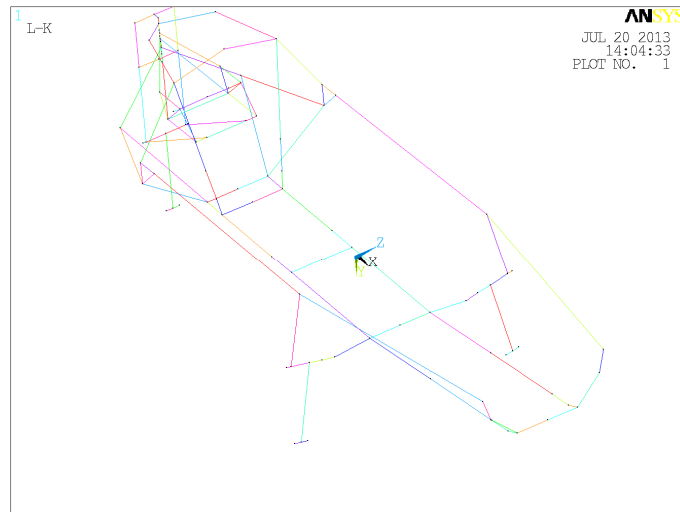


Figura 9.3. Modelo en ANSYS de la estructura 2.0.

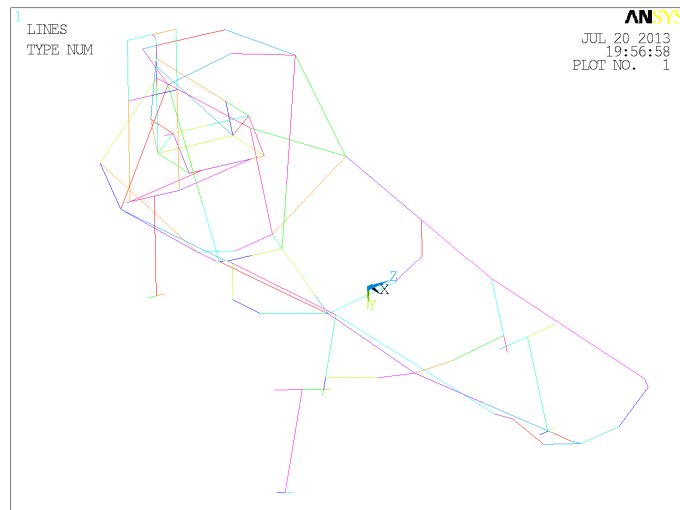
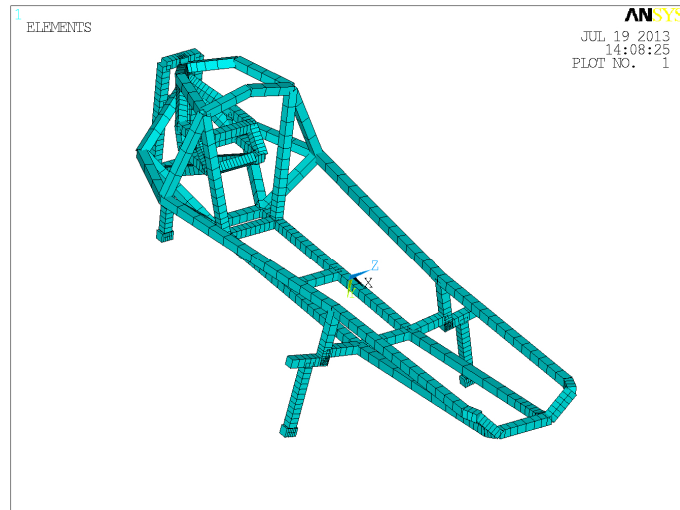


Figura 9.4. Modelo en ANSYS de la estructura 3.0.

9.2.4. Mallado:

Al decidir que las barras del modelo de elementos finitos sea unidimensionales las posibilidades de mallado quedan reducidas al número de elementos por línea. En el presente proyecto se ha decidido emplear el mallado adaptativo que permite obtener una buena precisión en las zonas más delicadas del modelo sin el coste computacional que supondría emplear elementos del mismo tamaño en toda la estructura. Por tanto, en la Figura 9.5 se puede apreciar como se ha mallado el modelo en elementos finitos de la estructura 1.0, en la Figura 9.6 el mallado de la estructura 2.0 y en la Figura 9.7 el mallado de la estructura 3.0.



9.3. Ensayos:

Una vez mallado el modelo de elementos finitos, el siguiente paso es la introducción en el programa de las cargas y restricciones del análisis a realizar. La estructura del prototipo debe soportar distintas distribuciones de cargas cuyas situaciones reales se indican en los apartados 8.4 y 8.5 del presente proyecto, que se corresponden con los catorce ensayos recogidos en este apartado. Se ha considerado un factor de seguridad de 1,5 mayorando todas las cargas menos la carga de 700N que se especifica en la normativa [97]. El origen de coordenadas se sitúa en el punto de contacto de la rueda trasera con la calzada.

9.3.1. Ensayo 1:

Este ensayo, como se indicó a la hora de definirlo en el apartado 8.5.1, recrea la situación del prototipo parado con el piloto dentro o circulando a velocidad constante en recta. Las restricciones que hay que introducir al modelo son: en el punto de contacto de la rueda trasera con la calzada se restringen los desplazamientos en los tres ejes, en el punto de contacto de la rueda delantera izquierda se restringen los desplazamientos lateral y vertical, y en el punto de contacto de la rueda delantera derecha se restringe el desplazamiento vertical. Se indican dichas restricciones en la Figura 9.8 sobre el modelo de la estructura 1.0, al ser idénticas para las tres estructuras.

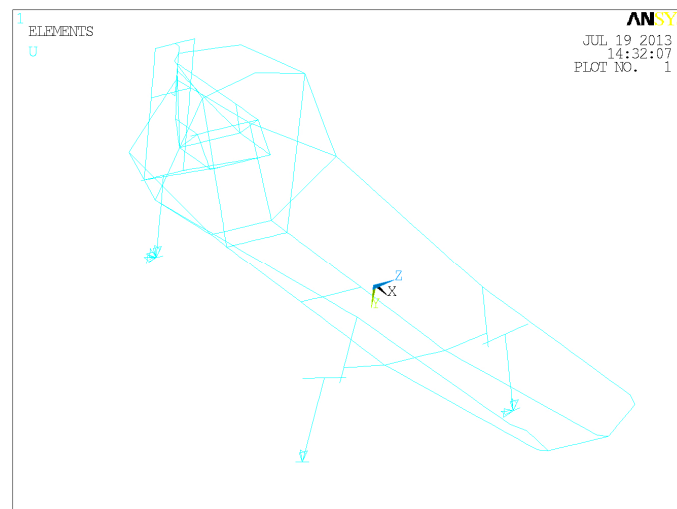


Figura 9.8. Restricciones al desplazamiento del ensayo 1.

Las cargas que se aplican sobre el modelo en este ensayo son: los pesos del motor, el embrague, el extintor, la carrocería, el asiento y el piloto. En la Tabla 9.3 se recogen los pesos y punto de aplicación del motor, el embrague y el extintor, al ser cargas iguales para las tres estructuras y en la Figura 9.9 se presentan dichas cargas sobre la estructura 1. Las cargas correspondientes a los pesos de la carrocería, del piloto y del asiento se especifican en los siguientes subapartados al depender de la estructura analizada.

Elemento	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Motor en orden de marcha	33	49,5	269	-122	520
Transmisión	12	18	269	60,6	520
Extintor	21,5	32,25	370	0	260

Tabla 9.3. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 1.

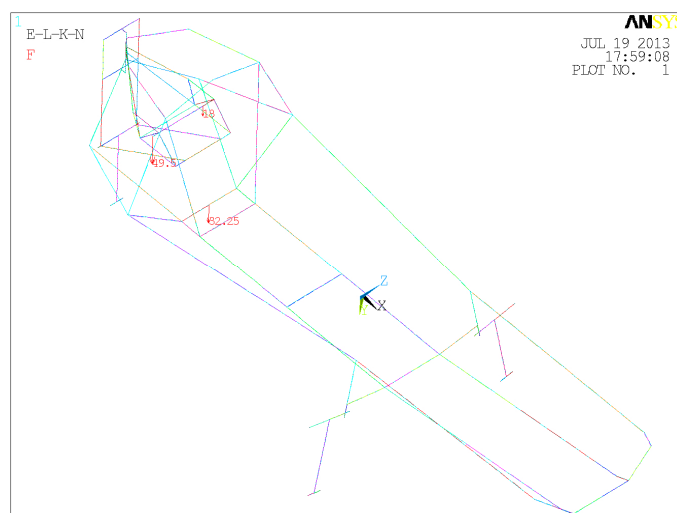


Figura 9.9. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.

9.3.1.1. Cargas específicas del ensayo 1 para la estructura 1:

Para la estructura 1, la carga de la carrocería se considera distribuida de la forma indicada en la Tabla 9.4 y representada en la Figura 9.10. La carga del asiento y el piloto se ha obtenido, como se explica en el anexo VII, al realizar un ensayo de elementos finitos simulando el piloto tumbado sobre el asiento y coaccionado de la misma forma que si estuviese montado sobre la estructura. Siendo los resultados de interés los correspondientes con las reacciones sobre las barras de la estructura, procesando dichos datos se obtienen las cargas aplicadas en los nodos que se recogen en la Tabla 9.5 y se producen las cargas en las uniones de las barras recogidas en la Tabla 9.6 junto

a sus puntos de aplicación. Representándose en la Figura 9.11 en color rojo las barras sobre las que se aplican dichas cargas.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	180	410,2
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	1/6	35	52,5	1200	238	262
Soporte derecho eje	1/6	35	52,5	1200	-238	262
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.4. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 1 de la estructura 1.

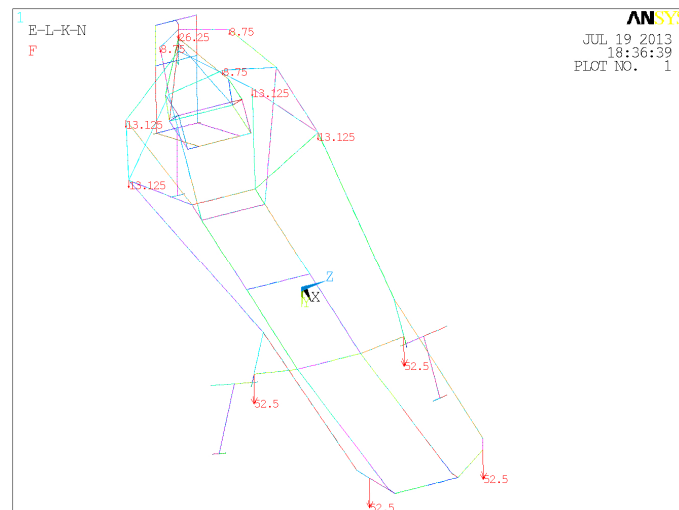


Figura 9.10. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
36 y 54	1970	1920	55	0	2	0
112 y 120	1920	1835	80	$2,044 \cdot 10^{-1}$	3	$5,110 \cdot 10^{-2}$
118 y 124	1835	1515	320	$1,225 \cdot 10^{-1}$	6	$1,751 \cdot 10^{-2}$
119 y 121	1515	1200	315	$2,675 \cdot 10^{-1}$	6	$3,822 \cdot 10^{-2}$
90 y 94	1200	800	385	$1,341 \cdot 10^{-1}$	12	$1,032 \cdot 10^{-2}$
122 y 123	800	700	115	$4,030 \cdot 10^{-2}$	2	$1,343 \cdot 10^{-2}$
113-126 y 114-127	700	445	240	$1,005 \cdot 10^{-1}$	9	$1,005 \cdot 10^{-2}$
110 y 111	445	436	824	$4,699 \cdot 10^{-3}$	2	$1,566 \cdot 10^{-3}$
106 y 107	436	420	16	$2,834 \cdot 10^{-1}$	3	$7,084 \cdot 10^{-2}$
115 y 125	420	370	35	$9,166 \cdot 10^{-2}$	6	$1,309 \cdot 10^{-2}$
32 y 50	1970	1970	100	0	3	0
63 y 108	1200	1200	100	$1,679 \cdot 10^{-1}$	2	$5,597 \cdot 10^{-2}$
68 y 109	800	800	100	$5,884 \cdot 10^{-1}$	2	$1,961 \cdot 10^{-1}$
45 y 104	445	445	100	$1,496 \cdot 10^{-2}$	7	$1,870 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.5. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 1 de la estructura 1.

Puntos	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga longitudinal (N)	Carga horizontal (N)	Carga vertical (N)
61 y 97	1970	(+/-) 100	330,2	6,179	14,98	2,256
69 y 105	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$9,412 \cdot 10^{-1}$
23 y 43	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$5,584 \cdot 10^{-1}$
41 y 42	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	1,118
67 y 103	1200	(+/-) 100	240	-13,26	22,21	8,686
135 y 136	800	(+/-) 100	250	0	0	21,91
39 y 40	700	(+/-) 100	252	0	0	2,341
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	3,931
31 y 33	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$-2,062 \cdot 10^{-2}$
30 y 34	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$6,271 \cdot 10^{-1}$
73 y 109	370	(+/-) 170	690	$-1,006 \cdot 10^{-2}$	1,866	$-1,368 \cdot 10^{-1}$
18	1970	0	250	0	0	$-5,553 \cdot 10^{-1}$
17	1200	0	240	0	0	-1,114
63	800	0	330,2	0	0	6,011
-	445	0	275	0	0	$-9,546 \cdot 10^{-2}$

Tabla 9.6. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 1 de la estructura 1.

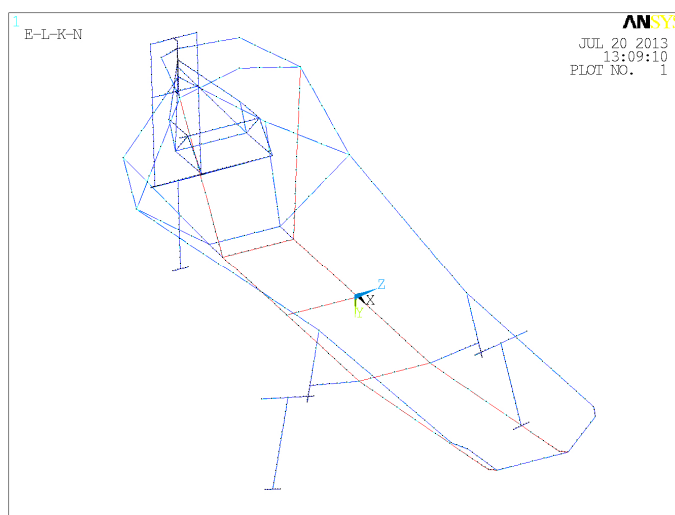


Figura 9.11. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del piloto y del asiento para el ensayo 1 de la estructura 1.

9.3.1.2. Cargas específicas del ensayo 1 para la estructura 2:

En la estructura 2, la carga de la carrocería se distribuye y se aplica de la forma indicada en la Tabla 9.7 y sus cargas puntuales se representan en la Figura 9.12.

Por otro lado, las cargas del piloto y el asiento obtenidas de la realización de un ensayo de elementos finitos, como se explica en el Anexo VII, se transmiten a las barras de la estructura marcadas de color rojo de la Figura 9.13 con los valores recogidos en la Tabla 9.8. Además, en las uniones de las barras se producen, a consecuencia del peso del piloto y del asiento, las cargas recogidas en la Tabla 9.9.

	Fracción del peso de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	200	480
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-200	480
Soporte exterior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	310	480
Soporte exterior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-310	480
Soporte interior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	217	228
Soporte interior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-217	228
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	648

Tabla 9.7. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 1 de la estructura 2.

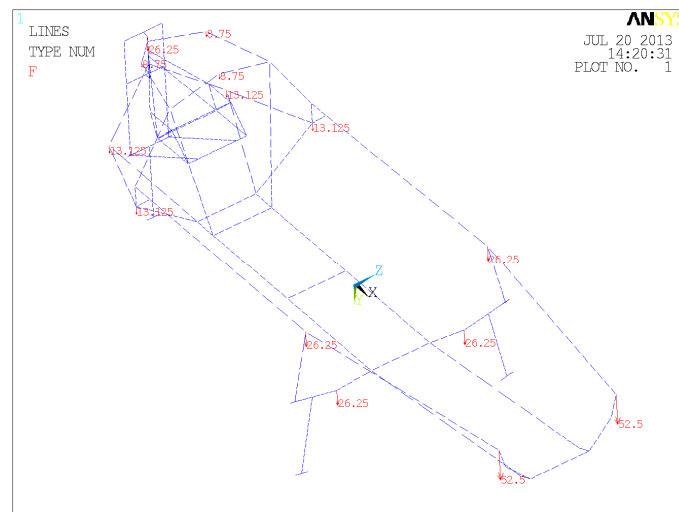


Figura 9.12. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.

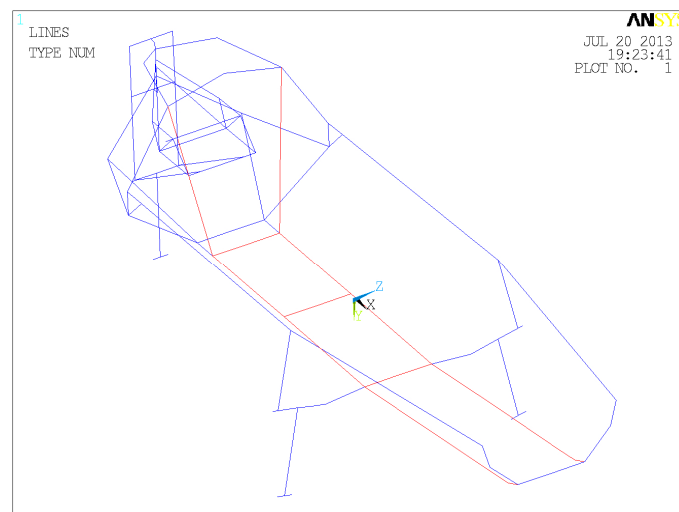


Figura 9.13. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del piloto y del asiento para el ensayo 1 de la estructura 2.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
29 y 33	1970	1920	55	0	2	0
30 y 32	1920	1835	80	$2,064 \cdot 10^{-1}$	3	$5,160 \cdot 10^{-2}$
135 y 136	1835	1515	320	$1,359 \cdot 10^{-1}$	6	$2,718 \cdot 10^{-2}$
129 y 131	1515	1200	315	$2,585 \cdot 10^{-1}$	6	$5,170 \cdot 10^{-2}$
88 y 90	1200	800	385	$1,239 \cdot 10^{-1}$	12	$9,534 \cdot 10^{-3}$
133 y 134	800	700	115	$3,466 \cdot 10^{-2}$	2	$1,155 \cdot 10^{-2}$
127 y 128	700	445	240	$1,064 \cdot 10^{-1}$	9	$1,064 \cdot 10^{-2}$
28 y 32	445	436	824	$4,623 \cdot 10^{-3}$	2	$1,541 \cdot 10^{-3}$
113 y 114	436	420	16	$2,957 \cdot 10^{-1}$	3	$7,393 \cdot 10^{-2}$
76 y 110	420	370	35	$1,207 \cdot 10^{-1}$	6	$1,725 \cdot 10^{-2}$
45 y 73	1970	1970	100	0	7	0
55 y 89	1200	1200	100	$1,442 \cdot 10^{-1}$	2	$4,805 \cdot 10^{-2}$
34 y 111	800	800	100	$5,401 \cdot 10^{-1}$	2	$1,800 \cdot 10^{-1}$
109 y 115	445	445	100	$2,437 \cdot 10^{-2}$	7	$3,047 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.8. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 1 de la estructura 2.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
57 y 65	1970	(+/-) 100	330,2	11,55	14,87	4,238
55 y 63	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$3,602 \cdot 10^{-1}$
50 y 56	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$5,774 \cdot 10^{-1}$
49 y 54	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$8,599 \cdot 10^{-1}$
53 y 61	1200	(+/-) 100	240	-19,15	50,41	6,047
67 y 68	800	(+/-) 100	250	0	0	21,96
44 y 47	700	(+/-) 100	252	0	0	2,236
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	3,890
27 y 28	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$3,436 \cdot 10^{-2}$
30 y 31	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$4,339 \cdot 10^{-1}$
71 y 75	370	(+/-) 170	690	$6,379 \cdot 10^{-1}$	$1,695 \cdot 10^{-1}$	-4,045
89	1970	0	250	0	0	$-5,608 \cdot 10^{-1}$
17	1200	0	240	0	0	$-6,593 \cdot 10^{-1}$
18	800	0	330,2	0	0	5,597
19	445	0	275	0	0	$1,150 \cdot 10^{-1}$

Tabla 9.9. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 1 de la estructura 2.

9.3.1.3. Cargas específicas del ensayo 1 para la estructura 3:

Para la estructura 3, las cargas de la carrocería se distribuyen de la forma recogida en la Tabla 9.10, representándose en la Figura 9.14 sus valores, direcciones y sentidos sobre la estructura.

Las cargas relativas al piloto y al asiento, obtenidas como las reacciones del análisis de elementos finitos del asiento con el piloto recogido en el anexo VII, y que se aplican sobre las barras de la estructura marcadas de color rojo en la Figura 9.15 presentando los valores recogidos en la Tabla 9.11 para las presiones sobre las barras y para las cargas sobre las uniones de las barras los valores recogidos en la Tabla 9.12.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	5/36	29,17	43,75	1970	180	410,2
Soporte delantero central	1/18	11,67	17,5	1970	0	310,2
Soporte delantero derecho	5/36	29,17	43,75	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	5/36	29,17	43,75	1200	238	262
Soporte central eje	1/36	5,84	8,75	1200	0	220
Soporte derecho eje	5/36	29,17	43,75	1200	-238	262
Soporte central travesaño	1/36	5,84	8,75	800	0	230
Soporte arco seguridad izquierdo	1/30	7	10,5	370	300	410,2
Soporte arco seguridad inferior	1/30	7	10,5	370	0	240
Soporte arco seguridad derecho	1/30	7	10,5	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/30	7	10,5	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/30	7	10,5	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.10. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 1 de la estructura 3.

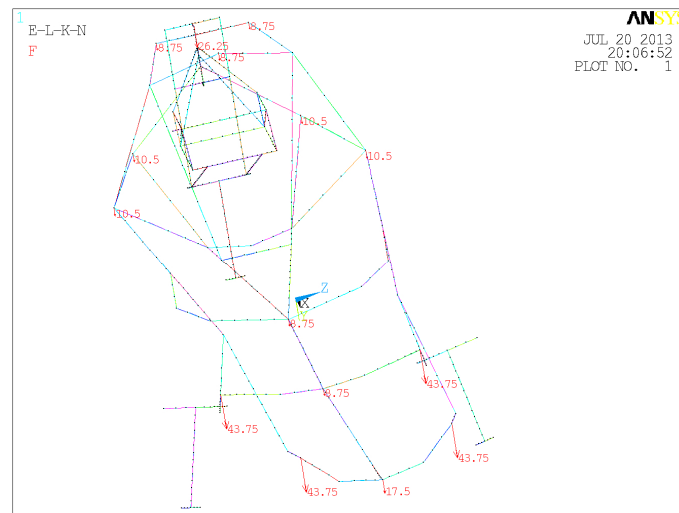


Figura 9.14. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.



Figura 9.15. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del piloto y del asiento para el ensayo 1 de la estructura 3.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
59	1970	1920	55	$1,050 \cdot 10^{-2}$	2	$1,429 \cdot 10^{-1}$
124	1920	1835	80	$9,591 \cdot 10^{-3}$	3	$9,907 \cdot 10^{-2}$
125	1835	1515	320	$1,303 \cdot 10^{-2}$	4	$8,104 \cdot 10^{-2}$
123	1515	1200	315	$9,111 \cdot 10^{-3}$	4	$8,593 \cdot 10^{-2}$
57	1200	800	385	$4,502 \cdot 10^{-3}$	11	$2,597 \cdot 10^{-3}$
113 y 114	800	700	115	$2,346 \cdot 10^{-3}$	2	$1,640 \cdot 10^{-3}$
31 y 58	700	445	240	$9,653 \cdot 10^{-3}$	8	$2,098 \cdot 10^{-2}$
61 y 111	445	420	824	$5,034 \cdot 10^{-4}$	3	$1,107 \cdot 10^{-3}$
115 y 116	420	370	16	$6,917 \cdot 10^{-2}$	5	$1,484 \cdot 10^{-2}$
33 y 48	1970	1970	100	$5,374 \cdot 10^{-4}$	3	$3,202 \cdot 10^{-3}$
51 y 52	1200	1200	100	0	2	0
66 y 67	800	800	180	$1,089 \cdot 10^{-2}$	5	$3,581 \cdot 10^{-2}$
108 y 109	445	445	83	$4,460 \cdot 10^{-3}$	2	$8,526 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.11. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 1 de la estructura 3.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
63 y 93	1970	(+/-) 100	330,2	66,24	10,60	31,46
65	1970	0	310,2	0	0	-1,943
115	1920	0	300,2	0	0	1,972
36	1835	0	290,7	0	0	-29,38
35	1515	0	255	0	0	1,010
99 y 103	1200	(+/-) 100	230	-70,93	7,424	-27,73
101	1200	0	220	0	0	6,276
129 y 133	800	(+/-) 180	270,2	0	0	30,57
114	800	0	230	0	0	-4,762
17 y 18	700	(+/-) 23,4	237	0	0	1,311
11 y 13	445	(+/-) 83	255	0	0	$8,441 \cdot 10^{-1}$
23	445	0	255	0	0	1,145
19 y 20	420	(+/-) 112	400,2	0	0	1,098
51 y 71	370	(+/-) 170	690	-1,730	5,048	10,43

Tabla 9.12. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 1 de la estructura 3.

9.3.2. Ensayo 2:

Este ensayo y los cinco siguientes, como se recoge en el apartado 8.4.1, recrean la prueba de resistencia del arco de seguridad recogida en la normativa de la competición.

Las restricciones de este ensayo son: en el punto de contacto rueda trasera con la calzada se restringen los desplazamientos en los tres ejes, en el punto de contacto de la rueda delantera izquierda se restringen los desplazamientos lateral y vertical, y en el punto de contacto de la rueda delantera derecha se restringe el desplazamiento vertical. En la Figura 9.16 se indican sobre el modelo de la estructura 1.0 dichas restricciones, ya que son idénticas para las tres estructuras.

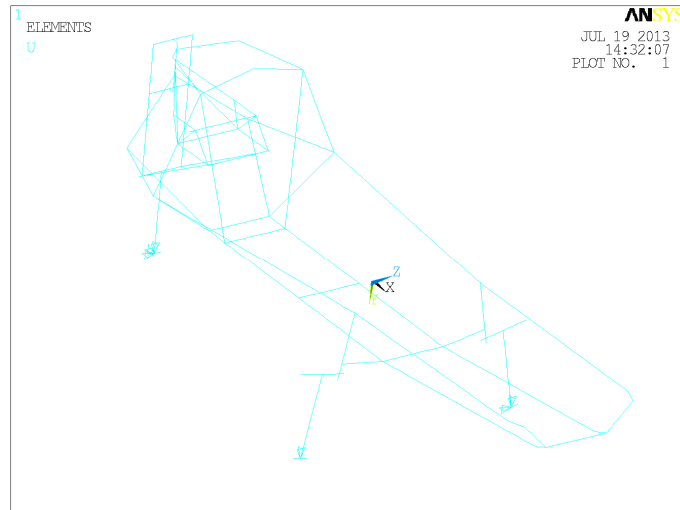


Figura 9.16. Restricciones al desplazamiento del ensayo 2.

Las cargas aplicadas en el presente ensayo son: la carga recogida en la normativa de valor 700N, los pesos del motor, el embrague, el extintor, la carrocería y el asiento. La carga debida a la normativa se aplica en el punto superior del arco de seguridad en la dirección longitudinal positiva como se puede apreciar en la Figura 9.17, realizada sobre la estructura 1, ya que el punto de aplicación de esta carga es el mismo para las tres estructuras.

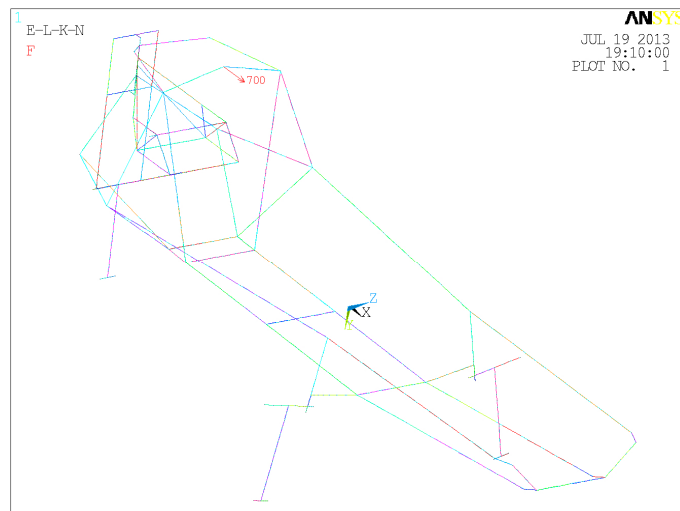


Figura 9.17. Representación de la carga de 700N del ensayo 2.

Las cargas correspondientes a los pesos del motor, embrague y extintor junto a sus puntos de aplicación se recogen en la Tabla 9.13 y se representan sobre la estructura 1 en la Figura 9.18. Y las cargas correspondientes a la carrocería y al peso del asiento, al depender de la estructura analizada se recogen, especificadas por estructura, en los siguientes subapartados.

Elemento	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Motor en orden de marcha	33	49,5	269	-122	520
Transmisión	12	18	269	60,6	520
Extintor	21,5	32,25	370	0	260

Tabla 9.13. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 2.

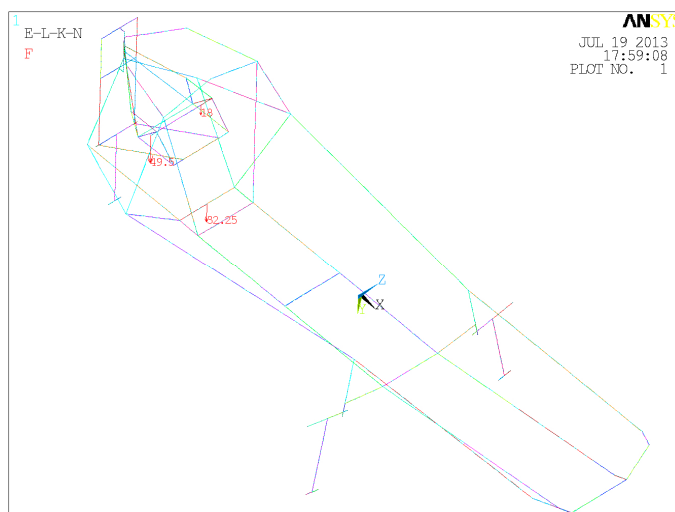


Figura 9.18. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.

9.3.2.1. Cargas específicas del ensayo 2 para la estructura 1:

Para la estructura 1, la distribución de cargas de la carrocería se recoge junto a sus puntos de aplicación en la Tabla 9.14 y se representa en la Figura 9.19.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	180	410,2
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	1/6	35	52,5	1200	238	262
Soporte derecho eje	1/6	35	52,5	1200	-238	262
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.14. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 2 de la estructura 1.

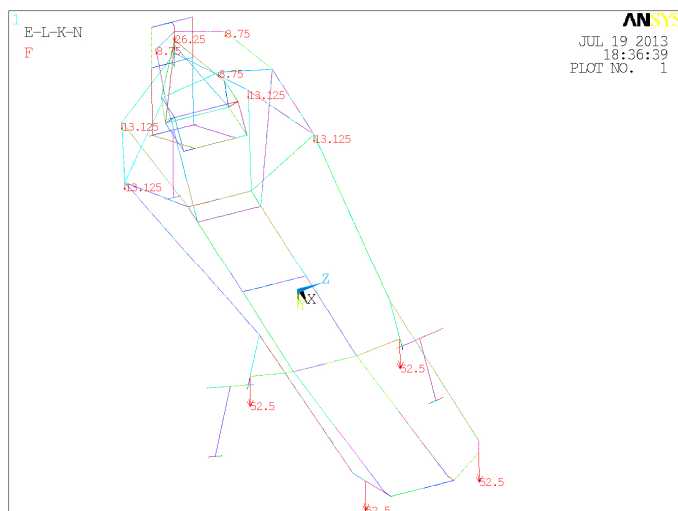


Figura 9.19. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.

Las cargas correspondientes al peso del asiento sobre las barras de la estructura, calculadas en el anexo VII, se recogen en la Tabla 9.15 y las aplicadas en las uniones se recogen en la Tabla 9.16.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
36 y 54	1970	1920	55	$8,914 \cdot 10^{-4}$	2	$2,971 \cdot 10^{-4}$
112 y 120	1920	1835	80	$1,973 \cdot 10^{-3}$	3	$4,932 \cdot 10^{-4}$
118 y 124	1835	1515	320	$4,720 \cdot 10^{-3}$	6	$6,744 \cdot 10^{-4}$
119 y 121	1515	1200	315	$5,242 \cdot 10^{-3}$	6	$7,488 \cdot 10^{-4}$
90 y 94	1200	800	385	$9,038 \cdot 10^{-3}$	12	$6,952 \cdot 10^{-4}$
122 y 123	800	700	115	$2,561 \cdot 10^{-3}$	2	$8,538 \cdot 10^{-4}$
113-126 y 114-127	700	445	240	$6,144 \cdot 10^{-3}$	9	$6,144 \cdot 10^{-4}$
110 y 111	445	436	824	$1,916 \cdot 10^{-4}$	2	$6,386 \cdot 10^{-5}$
106 y 107	436	420	16	$1,742 \cdot 10^{-2}$	3	$4,355 \cdot 10^{-3}$
115 y 125	420	370	35	$2,726 \cdot 10^{-2}$	6	$3,895 \cdot 10^{-3}$
32 y 50	1970	1970	100	$3,382 \cdot 10^{-4}$	6	$4,83 \cdot 10^{-5}$
63 y 108	1200	1200	100	$6,547 \cdot 10^{-3}$	11	$5,456 \cdot 10^{-4}$
68 y 109	800	800	100	$1,400 \cdot 10^{-2}$	10	$1,273 \cdot 10^{-3}$
45 y 104	445	445	100	$2,043 \cdot 10^{-3}$	3	$2,554 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.15. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 2 de la estructura 1.

Puntos	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga longitudinal (N)	Carga horizontal (N)	Carga vertical (N)
61 y 97	1970	(+/-) 100	330,2	$3,2942 \cdot 10^{-1}$	1,1216	$1,0833 \cdot 10^{-1}$
69 y 105	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$6,6296 \cdot 10^{-2}$
23 y 43	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,1018 \cdot 10^{-2}$
41 y 42	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$4,4504 \cdot 10^{-2}$
67 y 103	1200	(+/-) 100	240	$-2,1145 \cdot 10^{-1}$	$6,2186 \cdot 10^{-1}$	$3,1326 \cdot 10^{-1}$
135 y 136	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,0852 \cdot 10^{-1}$
39 y 40	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,6369 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,5674 \cdot 10^{-1}$
31 y 33	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,3311 \cdot 10^{-3}$
30 y 34	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,2117 \cdot 10^{-2}$
73 y 109	370	(+/-) 170	690	$-1,1797 \cdot 10^{-1}$	$5,9344 \cdot 10^{-1}$	$5,4122 \cdot 10^{-1}$
18	1970	0	250	0	0	$-3,9251 \cdot 10^{-2}$
17	1200	0	240	0	0	$-9,6584 \cdot 10^{-2}$
63	800	0	330,2	0	0	$1,1887 \cdot 10^{-1}$
-	445	0	275	0	0	$5,4299 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.16. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 2 de la estructura 1.

En la Figura 9.20 se señalan en color rojo las barras sobre las que se aplican estas cargas.

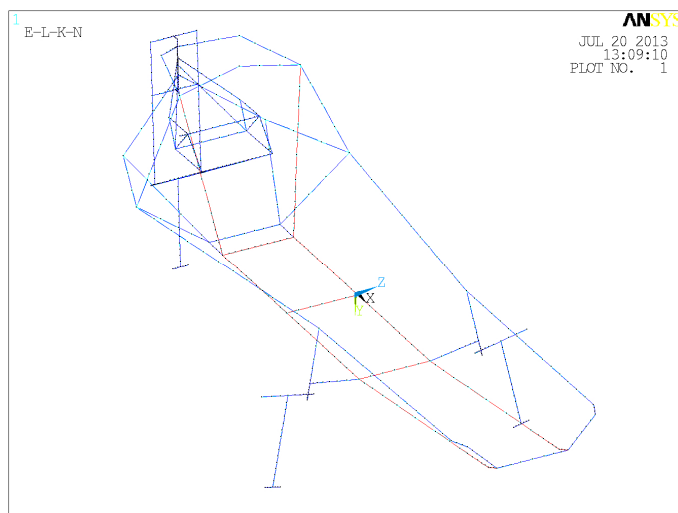


Figura 9.20. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 2 de la estructura 1.

9.3.2.2. Cargas específicas del ensayo 2 para la estructura 2:

La distribución de las cargas de la carrocería se recoge junto a sus puntos de aplicación en la Tabla 9.17 y se representa sobre la estructura 2 en la Figura 9.21.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	200	480
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-200	480
Soporte exterior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	310	480
Soporte exterior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-310	480
Soporte interior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	217	228
Soporte interior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-217	228
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	648

Tabla 9.17. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 2 de la estructura 2.

Las cargas correspondientes al asiento, calculadas en el anexo VII, que se transmiten a las barras de la estructura se recogen en la Tabla 9.18.

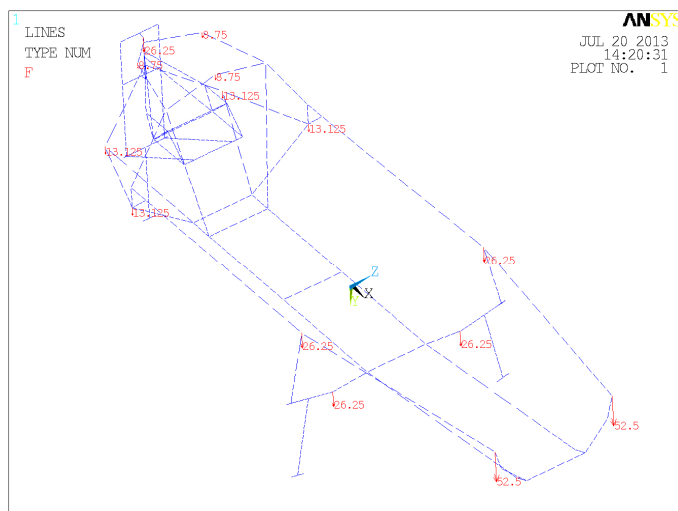


Figura 9.21. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
29 y 33	1970	1920	55	$9,018 \cdot 10^{-4}$	2	$3,006 \cdot 10^{-4}$
30 y 32	1920	1835	80	$1,961 \cdot 10^{-3}$	3	$4,903 \cdot 10^{-4}$
135 y 136	1835	1515	320	$6,315 \cdot 10^{-3}$	4	$1,263 \cdot 10^{-3}$
129 y 131	1515	1200	315	$6,873 \cdot 10^{-3}$	4	$1,375 \cdot 10^{-3}$
88 y 90	1200	800	385	$8,504 \cdot 10^{-3}$	11	$7,087 \cdot 10^{-4}$
133 y 134	800	700	115	$2,544 \cdot 10^{-3}$	2	$8,480 \cdot 10^{-4}$
127 y 128	700	445	240	$6,152 \cdot 10^{-3}$	9	$6,152 \cdot 10^{-4}$
28 y 32	445	436	824	$1,993 \cdot 10^{-4}$	2	$6,645 \cdot 10^{-5}$
113 y 114	436	420	16	$1,830 \cdot 10^{-2}$	3	$4,574 \cdot 10^{-3}$
76 y 110	420	370	35	$2,766 \cdot 10^{-2}$	6	$3,951 \cdot 10^{-3}$
45 y 73	1970	1970	100	$3,072 \cdot 10^{-4}$	6	$4,389 \cdot 10^{-5}$
55 y 89	1200	1200	100	$4,787 \cdot 10^{-3}$	2	$1,596 \cdot 10^{-3}$
34 y 111	800	800	100	$1,301 \cdot 10^{-2}$	2	$4,338 \cdot 10^{-3}$
109 y 115	445	445	100	$2,598 \cdot 10^{-3}$	3	$3,248 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.18. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 2 de la estructura 2.

En la Tabla 9.19 se recogen las cargas debidas al asiento que se producen en las uniones.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
57 y 65	1970	(+/-) 100	330,2	$6,022 \cdot 10^{-1}$	1,115	$2,090 \cdot 10^{-1}$
55 y 63	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$9,163 \cdot 10^{-2}$
50 y 56	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,258 \cdot 10^{-2}$
49 y 54	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$3,887 \cdot 10^{-2}$
53 y 61	1200	(+/-) 100	240	$-5,041 \cdot 10^{-1}$	1,033	$1,606 \cdot 10^{-1}$
67 y 68	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,112 \cdot 10^{-1}$
44 y 47	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,461 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,596 \cdot 10^{-1}$
27 y 28	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,640 \cdot 10^{-3}$
30 y 31	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,267 \cdot 10^{-2}$
71 y 75	370	(+/-) 170	690	$-9,817 \cdot 10^{-2}$	$5,453 \cdot 10^{-1}$	$4,218 \cdot 10^{-1}$
89	1970	0	250	0	0	0
17	1200	0	240	0	0	$-1,007 \cdot 10^{-1}$
18	800	0	330,2	0	0	$1,119 \cdot 10^{-1}$
19	445	0	275	0	0	$1,084 \cdot 10^{-2}$

Tabla 9.19. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 2 de la estructura 2.

Marcándose de color rojo, en la Figura 9.22, las barras sobre las que se aplican las cargas debidas al asiento del prototipo.

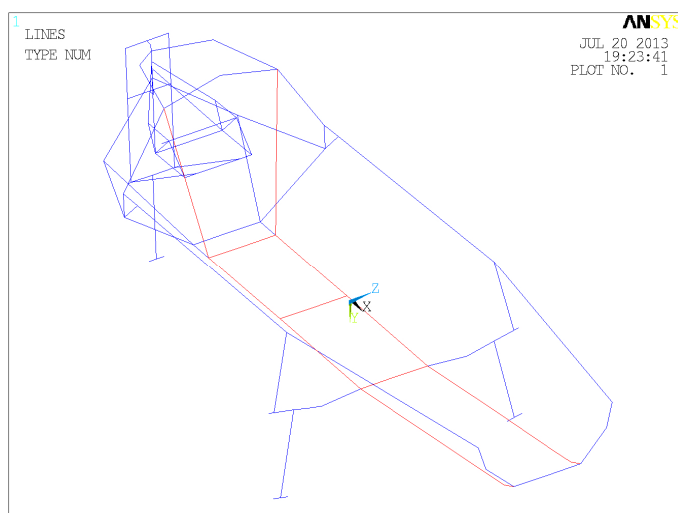


Figura 9.22. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 2 de la estructura 2.

9.3.2.3. Cargas específicas del ensayo 2 para la estructura 3:

Por último, para la estructura 3, la distribución de cargas correspondiente a la carrocería se recoge junto a los puntos de aplicación en la Tabla 9.20 y se representa en la Figura 9.23.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	5/36	29,17	43,75	1970	180	410,2
Soporte delantero central	1/18	11,67	17,5	1970	0	310,2
Soporte delantero derecho	5/36	29,17	43,75	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	5/36	29,17	43,75	1200	238	262
Soporte central eje	1/36	5,84	8,75	1200	0	220
Soporte derecho eje	5/36	29,17	43,75	1200	-238	262
Soporte central travesaño	1/36	5,84	8,75	800	0	230
Soporte arco seguridad izquierdo	1/30	7	10,5	370	300	410,2
Soporte arco seguridad inferior	1/30	7	10,5	370	0	240
Soporte arco seguridad derecho	1/30	7	10,5	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/30	7	10,5	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/30	7	10,5	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.20. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 2 de la estructura 3.

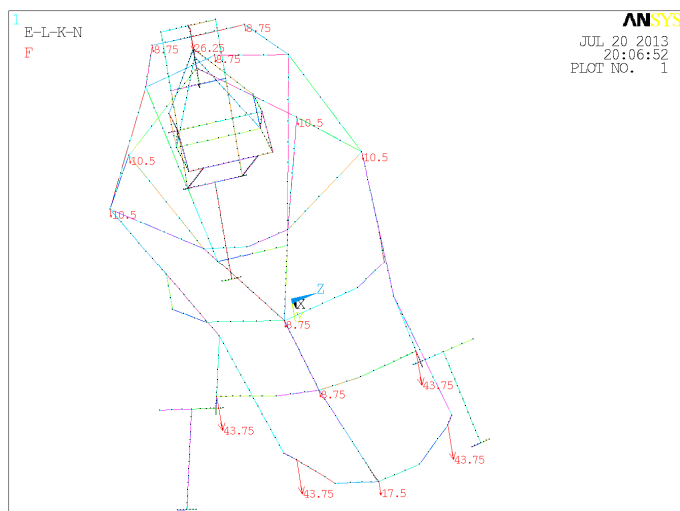


Figura 9.23. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.

Las cargas del asiento obtenidas en el anexo VII se recogen en la Tabla 9.21, los valores correspondientes a las cargas sobre las barras, y en la Tabla 9.22 los valores en las uniones.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
59	1970	1920	55	$1,050 \cdot 10^{-2}$	2	$3,500 \cdot 10^{-3}$
124	1920	1835	80	$9,591 \cdot 10^{-3}$	3	$2,398 \cdot 10^{-3}$
125	1835	1515	320	$1,303 \cdot 10^{-2}$	4	$2,607 \cdot 10^{-3}$
123	1515	1200	315	$9,111 \cdot 10^{-3}$	4	$1,822 \cdot 10^{-3}$
57	1200	800	385	$4,502 \cdot 10^{-3}$	11	$3,752 \cdot 10^{-4}$
113 y 114	800	700	115	$2,346 \cdot 10^{-3}$	2	$7,821 \cdot 10^{-4}$
31 y 58	700	445	240	$9,653 \cdot 10^{-3}$	8	$1,073 \cdot 10^{-3}$
61 y 111	445	420	824	$5,034 \cdot 10^{-4}$	3	$1,258 \cdot 10^{-4}$
115 y 116	420	370	16	$6,917 \cdot 10^{-2}$	5	$1,153 \cdot 10^{-2}$
33 y 48	1970	1970	100	$5,374 \cdot 10^{-4}$	3	$1,344 \cdot 10^{-4}$
51 y 52	1200	1200	100	0	2	0
66 y 67	800	800	100	$1,089 \cdot 10^{-2}$	5	$1,815 \cdot 10^{-3}$
108 y 109	445	445	100	$4,460 \cdot 10^{-3}$	2	$7,434 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.21. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 2 de la estructura 3.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
63 y 93	1970	(+/-) 100	330,2	1,6190	$2,269 \cdot 10^{-1}$	$8,228 \cdot 10^{-1}$
65	1970	0	310,2	0	0	$-1,972 \cdot 10^{-2}$
115	1920	0	300,2	0	0	$3,519 \cdot 10^{-2}$
36	1835	0	290,7	0	0	$-6,876 \cdot 10^{-1}$
35	1515	0	255	0	0	$1,817 \cdot 10^{-2}$
99 y 103	1200	(+/-) 100	230	-1,517	2,986	$7,135 \cdot 10^{-1}$
101	1200	0	220	0	0	$1,174 \cdot 10^{-1}$
129 y 133	800	(+/-) 180	270,2	0	0	$6,066 \cdot 10^{-1}$
114	800	0	230	0	0	$-9,370 \cdot 10^{-3}$
17 y 18	700	(+/-) 23,4	237	0	0	$4,756 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 83	255	0	0	$-2,739 \cdot 10^{-2}$
23	445	0	255	0	0	$5,366 \cdot 10^{-2}$
19 y 20	420	(+/-) 112	400,2	0	0	$1,340 \cdot 10^{-1}$
51 y 71	370	(+/-) 170	690	$-1,022 \cdot 10^{-1}$	$4,865 \cdot 10^{-1}$	$5,167 \cdot 10^{-1}$

Tabla 9.22. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 2 de la estructura 3.

Las cargas del asiento se aplican sobre las barras marcadas en color rojo en la Figura 9.24

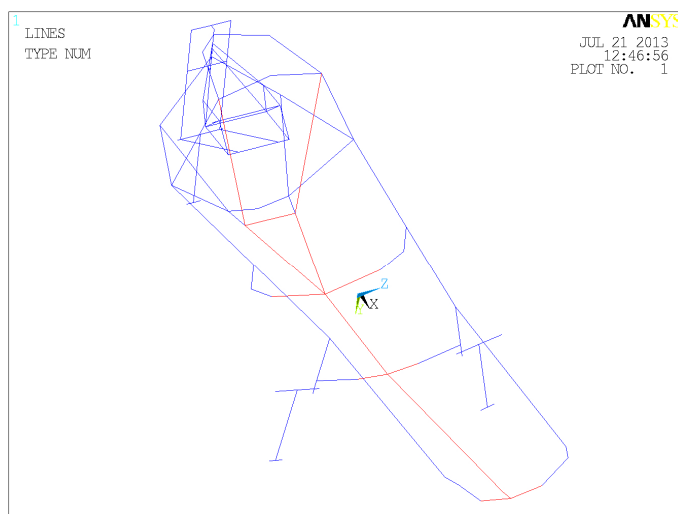


Figura 9.24. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 2 de la estructura 3.

9.3.3. Ensayo 2b:

Este ensayo como el anterior recrea la prueba de resistencia del arco de seguridad recogida en la normativa de la competición y definida en el apartado 8.4.1 del presente proyecto.

Las restricciones de los grados de libertad del modelo que se aplican en este ensayo son: en el punto de contacto rueda trasera con la calzada se restringen los desplazamientos en los tres ejes, en el punto de contacto de la rueda delantera izquierda se restringen los desplazamientos lateral y vertical, y por último en el punto de contacto de la rueda delantera derecha se restringe el desplazamiento vertical. En la Figura 9.25 se indican sobre el modelo de la estructura 1.0 dichas restricciones, siendo las mismas para las tres estructuras.

Las cargas aplicadas en este ensayo son: la carga de 700N recogida en la normativa y las correspondientes a los pesos del motor, del embrague, del extintor, de la carrocería y del asiento. La carga de 700N se aplica sobre el punto más elevado del arco de seguridad en la dirección longitudinal negativa como se aprecia en la Figura 9.26. Las cargas correspondientes a los pesos del motor, el embrague y el extintor se recogen junto a las coordenadas de sus puntos de aplicación en la Tabla 9.23 y se representan sobre la estructura 1 en la Figura 9.27.

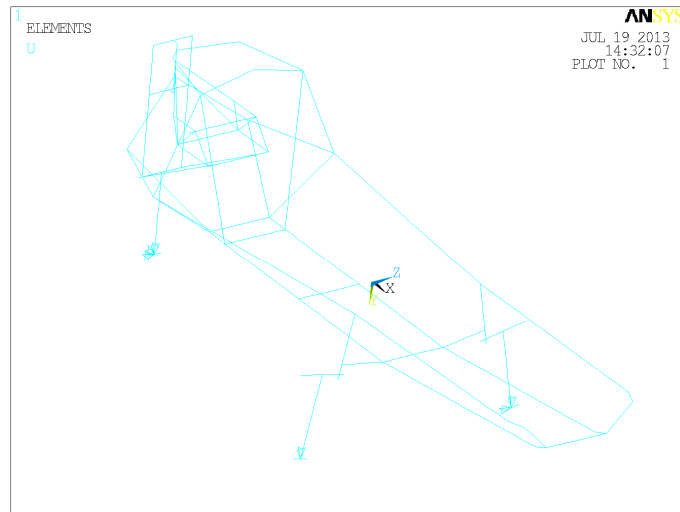


Figura 9.25. Restricciones al desplazamiento del ensayo 2b.

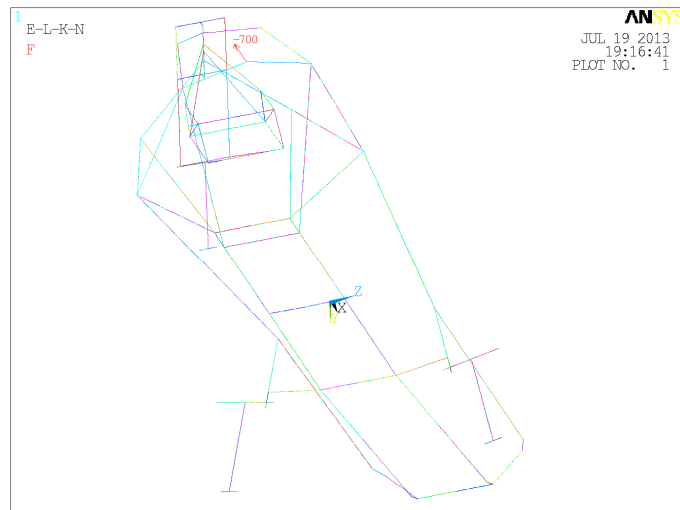


Figura 9.26. Representación del punto de aplicación y de la dirección de la carga de 700N del ensayo 2b.

Elemento	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Motor en orden de marcha	33	49,5	269	-122	520
Transmisión	12	18	269	60,6	520
Extintor	21,5	32,25	370	0	260

Tabla 9.23. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 2b.

Las cargas correspondientes a los pesos de la carrocería y el asiento se recogen en los siguientes subapartados al depender de la estructura analizada.

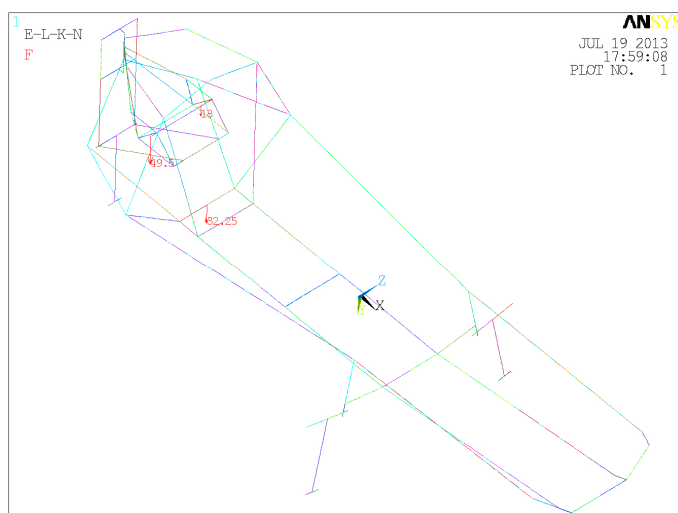


Figura 9.27. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.

9.3.3.1. Cargas específicas del ensayo 2b para la estructura 1:

Las cargas debidas a la carrocería aplicadas sobre la estructura 1 se recogen junto a sus puntos de aplicación en la Tabla 9.24 y se representan en la Figura 9.28.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	180	410,2
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	1/6	35	52,5	1200	238	262
Soporte derecho eje	1/6	35	52,5	1200	-238	262
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.24. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 2b de la estructura 1.

Las cargas aplicadas sobre las barras de la estructura correspondientes al peso del asiento, calculadas en el anexo VII, se recogen en la Tabla 9.25. Y en la Tabla 9.26 se recogen los valores correspondientes a las cargas en las uniones debidas al peso del asiento. Indicándose en la Figura 9.29 en color rojo las barras sobre las que se aplican dichas cargas.

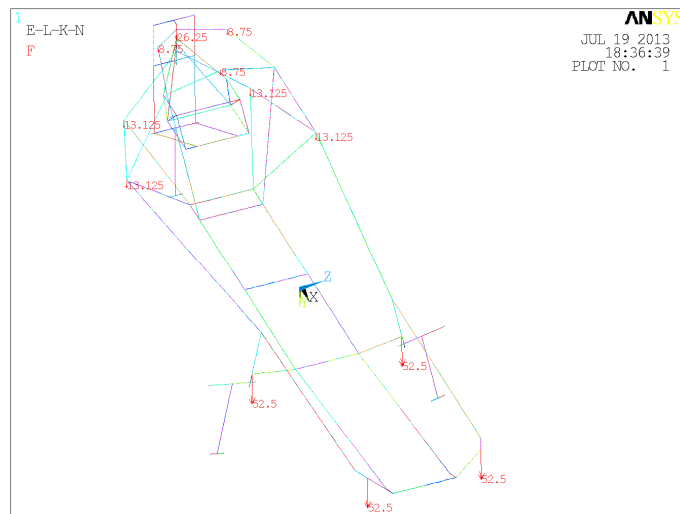


Figura 9.28. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
36 y 54	1970	1920	55	$8,914 \cdot 10^{-4}$	2	$2,971 \cdot 10^{-4}$
112 y 120	1920	1835	80	$1,973 \cdot 10^{-3}$	3	$4,932 \cdot 10^{-4}$
118 y 124	1835	1515	320	$4,720 \cdot 10^{-3}$	6	$6,744 \cdot 10^{-4}$
119 y 121	1515	1200	315	$5,242 \cdot 10^{-3}$	6	$7,488 \cdot 10^{-4}$
90 y 94	1200	800	385	$9,038 \cdot 10^{-3}$	12	$6,952 \cdot 10^{-4}$
122 y 123	800	700	115	$2,561 \cdot 10^{-3}$	2	$8,538 \cdot 10^{-4}$
113-126 y 114-127	700	445	240	$6,144 \cdot 10^{-3}$	9	$6,144 \cdot 10^{-4}$
110 y 111	445	436	824	$1,916 \cdot 10^{-4}$	2	$6,386 \cdot 10^{-5}$
106 y 107	436	420	16	$1,742 \cdot 10^{-2}$	3	$4,355 \cdot 10^{-3}$
115 y 125	420	370	35	$2,726 \cdot 10^{-2}$	6	$3,895 \cdot 10^{-3}$
32 y 50	1970	1970	100	$3,382 \cdot 10^{-4}$	6	$4,83 \cdot 10^{-5}$
63 y 108	1200	1200	100	$6,547 \cdot 10^{-3}$	11	$5,456 \cdot 10^{-4}$
68 y 109	800	800	100	$1,400 \cdot 10^{-2}$	10	$1,273 \cdot 10^{-3}$
45 y 104	445	445	100	$2,043 \cdot 10^{-3}$	3	$2,554 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.25. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 2b de la estructura 1.

Puntos	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga longitudinal (N)	Carga horizontal (N)	Carga vertical (N)
61 y 97	1970	(+/-) 100	330,2	$3,2942 \cdot 10^{-1}$	1,1216	$1,0833 \cdot 10^{-1}$
69 y 105	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$6,6296 \cdot 10^{-2}$
23 y 43	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,1018 \cdot 10^{-2}$
41 y 42	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$4,4504 \cdot 10^{-2}$
67 y 103	1200	(+/-) 100	240	$-2,1145 \cdot 10^{-1}$	$6,2186 \cdot 10^{-1}$	$3,1326 \cdot 10^{-1}$
135 y 136	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,0852 \cdot 10^{-1}$
39 y 40	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,6369 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,5674 \cdot 10^{-1}$
31 y 33	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,3311 \cdot 10^{-3}$
30 y 34	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,2117 \cdot 10^{-2}$
73 y 109	370	(+/-) 170	690	$-1,1797 \cdot 10^{-1}$	$5,9344 \cdot 10^{-1}$	$5,4122 \cdot 10^{-1}$
18	1970	0	250	0	0	$-3,9251 \cdot 10^{-2}$
17	1200	0	240	0	0	$-9,6584 \cdot 10^{-2}$
63	800	0	330,2	0	0	$1,1887 \cdot 10^{-1}$
-	445	0	275	0	0	$5,4299 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.26. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 2b de la estructura 1.

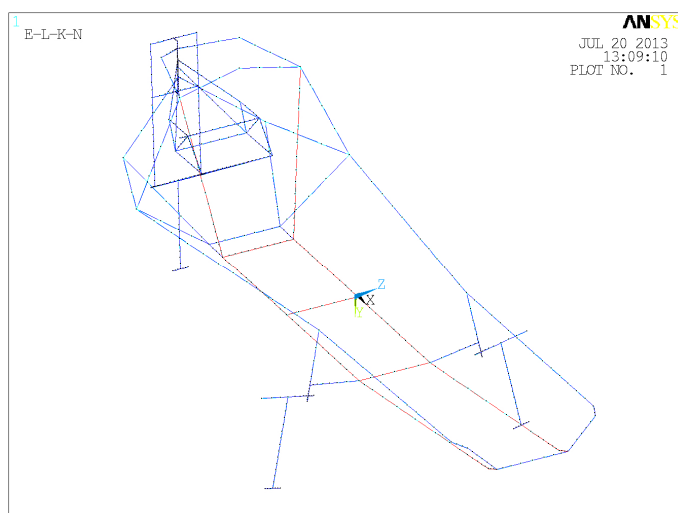


Figura 9.29. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 2b de la estructura 1.

9.3.3.2. Cargas específicas del ensayo 2b para la estructura 2:

En la estructura 2, la distribución de las cargas de la carrocería junto a sus puntos de aplicación se recoge en la Tabla 9.27 y se representa sobre dicha estructura en la Figura 9.30.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	200	480
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-200	480
Soporte exterior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	310	480
Soporte exterior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-310	480
Soporte interior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	217	228
Soporte interior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-217	228
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	648

Tabla 9.27. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 2b de la estructura 2.

Las cargas debidas al peso del asiento, calculadas según se detalla en el anexo VII, se aplican sobre las barras rojas representadas en la Figura 9.31. En la Tabla 9.28 se recogen de las cargas debidas al peso del asiento las que se transmiten a las barras de la estructura. Y en la Tabla 9.29 se recogen las cargas debidas al peso del asiento que se transmiten a las uniones de la estructura.

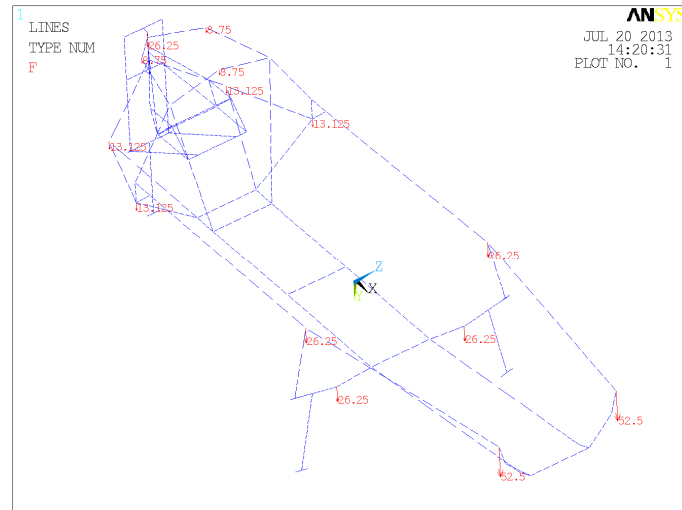


Figura 9.30. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.

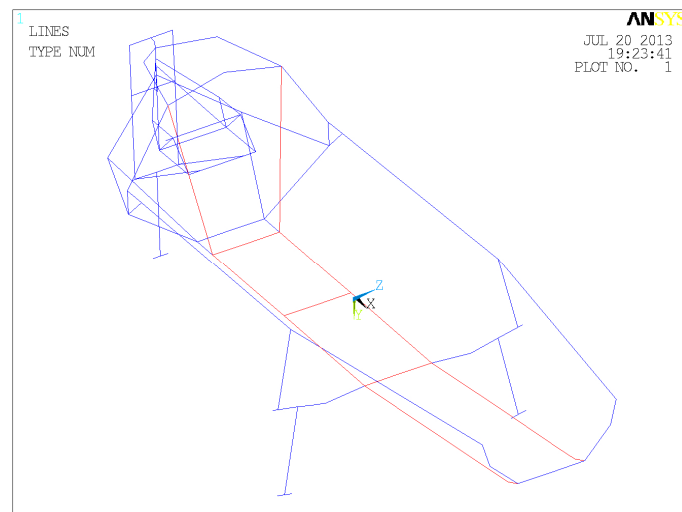


Figura 9.31. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 2b de la estructura 2.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
29 y 33	1970	1920	55	$9,018 \cdot 10^{-4}$	2	$3,006 \cdot 10^{-4}$
30 y 32	1920	1835	80	$1,961 \cdot 10^{-3}$	3	$4,903 \cdot 10^{-4}$
135 y 136	1835	1515	320	$6,315 \cdot 10^{-3}$	4	$1,263 \cdot 10^{-3}$
129 y 131	1515	1200	315	$6,873 \cdot 10^{-3}$	4	$1,375 \cdot 10^{-3}$
88 y 90	1200	800	385	$8,504 \cdot 10^{-3}$	11	$7,087 \cdot 10^{-4}$
133 y 134	800	700	115	$2,544 \cdot 10^{-3}$	2	$8,480 \cdot 10^{-4}$
127 y 128	700	445	240	$6,152 \cdot 10^{-3}$	9	$6,152 \cdot 10^{-4}$
28 y 32	445	436	824	$1,993 \cdot 10^{-4}$	2	$6,645 \cdot 10^{-5}$
113 y 114	436	420	16	$1,830 \cdot 10^{-2}$	3	$4,574 \cdot 10^{-3}$
76 y 110	420	370	35	$2,766 \cdot 10^{-2}$	6	$3,951 \cdot 10^{-3}$
45 y 73	1970	1970	100	$3,072 \cdot 10^{-4}$	6	$4,389 \cdot 10^{-5}$
55 y 89	1200	1200	100	$4,787 \cdot 10^{-3}$	2	$1,596 \cdot 10^{-3}$
34 y 111	800	800	100	$1,301 \cdot 10^{-2}$	2	$4,338 \cdot 10^{-3}$
109 y 115	445	445	100	$2,598 \cdot 10^{-3}$	3	$3,248 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.28. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 2b de la estructura 2.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
57 y 65	1970	(+/-) 100	330,2	$6,022 \cdot 10^{-1}$	1,115	$2,090 \cdot 10^{-1}$
55 y 63	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$9,163 \cdot 10^{-2}$
50 y 56	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,258 \cdot 10^{-2}$
49 y 54	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$3,887 \cdot 10^{-2}$
53 y 61	1200	(+/-) 100	240	$-5,041 \cdot 10^{-1}$	1,033	$1,606 \cdot 10^{-1}$
67 y 68	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,112 \cdot 10^{-1}$
44 y 47	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,461 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,596 \cdot 10^{-1}$
27 y 28	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,640 \cdot 10^{-3}$
30 y 31	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,267 \cdot 10^{-2}$
71 y 75	370	(+/-) 170	690	$-9,817 \cdot 10^{-2}$	$5,453 \cdot 10^{-1}$	$4,218 \cdot 10^{-1}$
89	1970	0	250	0	0	0
17	1200	0	240	0	0	$-1,007 \cdot 10^{-1}$
18	800	0	330,2	0	0	$1,119 \cdot 10^{-1}$
19	445	0	275	0	0	$1,084 \cdot 10^{-2}$

Tabla 9.29. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 2b de la estructura 2.

9.3.3.3. Cargas específicas del ensayo 2b para la estructura 3:

Por último, la distribución de cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3 se recoge junto a los puntos de aplicación en la Tabla 9.30 y se representa en la Figura 9.32.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	5/36	29,17	43,75	1970	180	410,2
Soporte delantero central	1/18	11,67	17,5	1970	0	310,2
Soporte delantero derecho	5/36	29,17	43,75	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	5/36	29,17	43,75	1200	238	262
Soporte central eje	1/36	5,84	8,75	1200	0	220
Soporte derecho eje	5/36	29,17	43,75	1200	-238	262
Soporte central travesaño	1/36	5,84	8,75	800	0	230
Soporte arco seguridad izquierdo	1/30	7	10,5	370	300	410,2
Soporte arco seguridad inferior	1/30	7	10,5	370	0	240
Soporte arco seguridad derecho	1/30	7	10,5	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/30	7	10,5	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/30	7	10,5	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.30. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 2b de la estructura 3.

Las cargas del asiento, obtenidas de la forma que se detalla en el anexo VII, se aplican sobre las barras de la estructura marcadas en color rojo en la Figura 9.33. Recogiéndose en la Tabla 9.31 los valores de las presiones sobre las barras debidas al peso del asiento. Y en la Tabla 9.32 se recogen los valores de las cargas sobre las uniones de la estructura a consecuencia del peso del asiento.

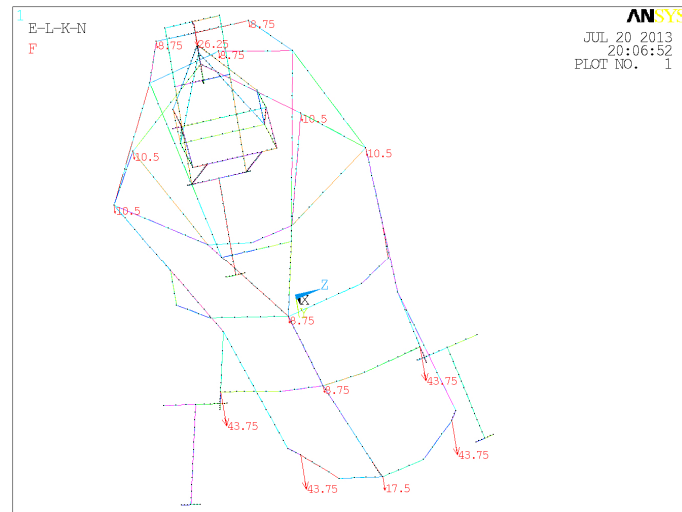


Figura 9.32. Representación de de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.

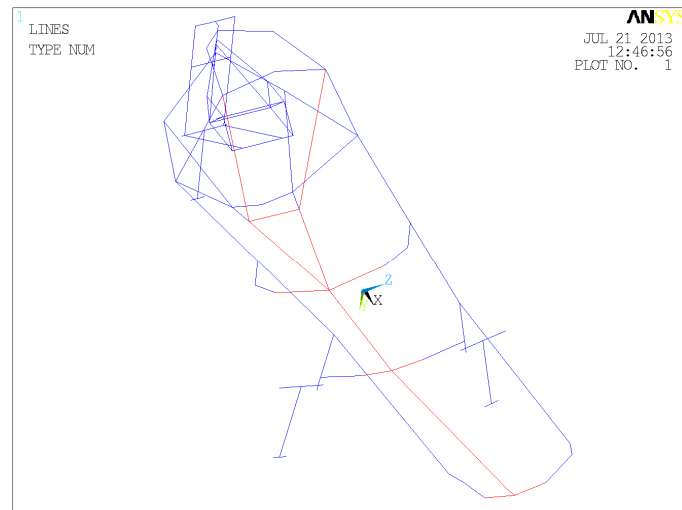


Figura 9.33. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 2b de la estructura 3.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
59	1970	1920	55	$1,050 \cdot 10^{-2}$	2	$3,500 \cdot 10^{-3}$
124	1920	1835	80	$9,591 \cdot 10^{-3}$	3	$2,398 \cdot 10^{-3}$
125	1835	1515	320	$1,303 \cdot 10^{-2}$	4	$2,607 \cdot 10^{-3}$
123	1515	1200	315	$9,111 \cdot 10^{-3}$	4	$1,822 \cdot 10^{-3}$
57	1200	800	385	$4,502 \cdot 10^{-3}$	11	$3,752 \cdot 10^{-4}$
113 y 114	800	700	115	$2,346 \cdot 10^{-3}$	2	$7,821 \cdot 10^{-4}$
31 y 58	700	445	240	$9,653 \cdot 10^{-3}$	8	$1,073 \cdot 10^{-3}$
61 y 111	445	420	824	$5,034 \cdot 10^{-4}$	3	$1,258 \cdot 10^{-4}$
115 y 116	420	370	16	$6,917 \cdot 10^{-2}$	5	$1,153 \cdot 10^{-2}$
33 y 48	1970	1970	100	$5,374 \cdot 10^{-4}$	3	$1,344 \cdot 10^{-4}$
51 y 52	1200	1200	100	0	2	0
66 y 67	800	800	100	$1,089 \cdot 10^{-2}$	5	$1,815 \cdot 10^{-3}$
108 y 109	445	445	100	$4,460 \cdot 10^{-3}$	2	$7,434 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.31. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 2b de la estructura 3.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
63 y 93	1970	(+/-) 100	330,2	1,6190	$2,269 \cdot 10^{-1}$	$8,228 \cdot 10^{-1}$
65	1970	0	310,2	0	0	$-1,972 \cdot 10^{-2}$
115	1920	0	300,2	0	0	$3,519 \cdot 10^{-2}$
36	1835	0	290,7	0	0	$-6,876 \cdot 10^{-1}$
35	1515	0	255	0	0	$1,817 \cdot 10^{-2}$
99 y 103	1200	(+/-) 100	230	-1,517	2,986	$7,135 \cdot 10^{-1}$
101	1200	0	220	0	0	$1,174 \cdot 10^{-1}$
129 y 133	800	(+/-) 180	270,2	0	0	$6,066 \cdot 10^{-1}$
114	800	0	230	0	0	$-9,370 \cdot 10^{-3}$
17 y 18	700	(+/-) 23,4	237	0	0	$4,756 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 83	255	0	0	$-2,739 \cdot 10^{-2}$
23	445	0	255	0	0	$5,366 \cdot 10^{-2}$
19 y 20	420	(+/-) 112	400,2	0	0	$1,340 \cdot 10^{-1}$
51 y 71	370	(+/-) 170	690	$-1,022 \cdot 10^{-1}$	$4,865 \cdot 10^{-1}$	$5,167 \cdot 10^{-1}$

Tabla 9.32. . Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 2b de la estructura 3.

9.3.4. Ensayo 3:

Este ensayo como los dos anteriores recrea la prueba de resistencia del arco de seguridad de la estructura definida en el apartado 8.4.1. del presente proyecto y recogida en la normativa de la competición.

Las restricciones son las mismas que en los ensayos precedentes, es decir, se restringe el desplazamiento en los tres ejes en el punto de contacto rueda trasera con la calzada, se restringen los desplazamientos lateral y vertical en el punto de contacto de la rueda delantera izquierda y se restringe el desplazamiento vertical en el punto de contacto de la rueda delantera derecha. Representando dichas restricciones sobre el modelo de la estructura 1.0, al ser iguales para las tres estructuras, se obtiene la Figura 9.34.

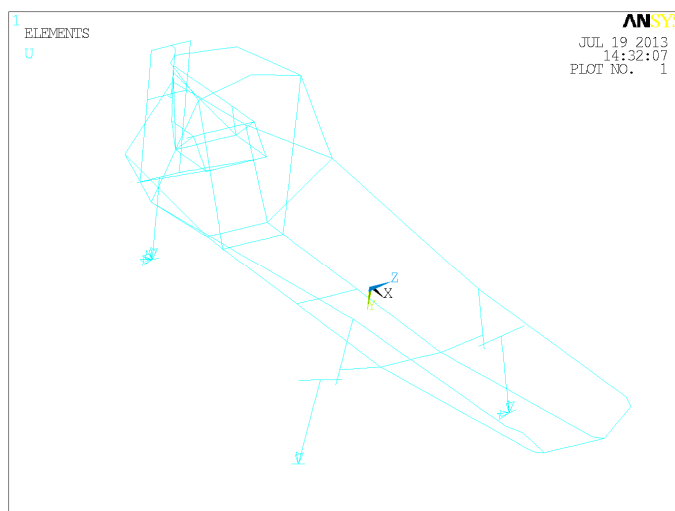


Figura 9.34. Restricciones al desplazamiento del ensayo 3.

Las cargas a aplicar también son las mismas que en los ensayos precedentes, la carga de 700N recogida en la normativa y las cargas consecuentes de los pesos del motor, del extintor, del embrague, de la carrocería y del asiento. Las cargas de los pesos del motor, del embrague y del extintor, al ser comunes a las tres estructuras, se recogen junto a las coordenadas de sus puntos de aplicación en la Tabla 9.33 y se representan, sobre la estructura 1, en la Figura 9.35. El resto de cargas, como dependen sus puntos de aplicación, y en algunos casos su valor, de la estructura analizada se recogen en los siguientes subapartados, detalladas por estructura.

Elemento	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Motor en orden de marcha	33	49,5	269	-122	520
Transmisión	12	18	269	60,6	520
Extintor	21,5	32,25	370	0	260

Tabla 9.33. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 3.

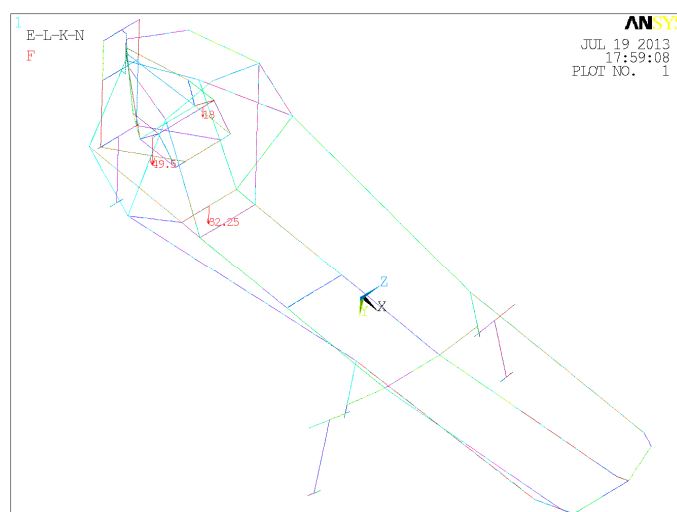


Figura 9.35. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.

9.3.4.1. Cargas específicas del ensayo 3 para la estructura 1:

La carga de 700N, en este ensayo se aplica sobre lateral izquierdo del arco de seguridad de la estructura hacia el interior de la estructura como se puede apreciar en la Figura 9.36.

La distribución de cargas de la carrocería junto a los puntos de aplicación de las mismas se recoge en la Tabla 9.34 y se representa en la Figura 9.37.

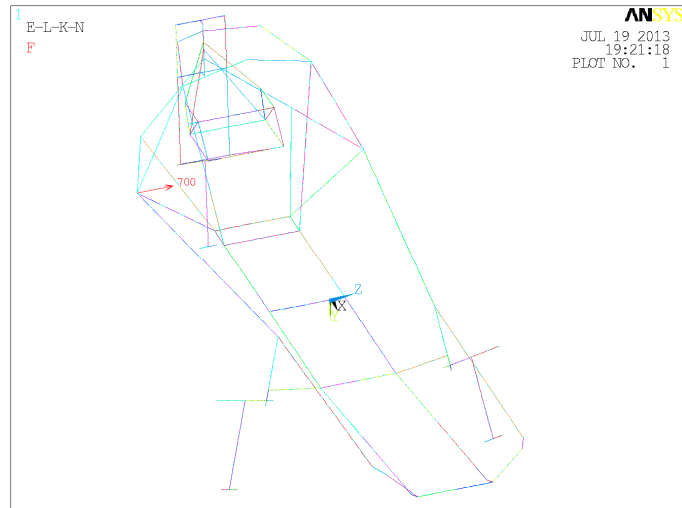


Figura 9.36. Representación de la carga de 700N del ensayo 3 para la estructura 1.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	180	410,2
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	1/6	35	52,5	1200	238	262
Soporte derecho eje	1/6	35	52,5	1200	-238	262
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.34. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 3 de la estructura 1.

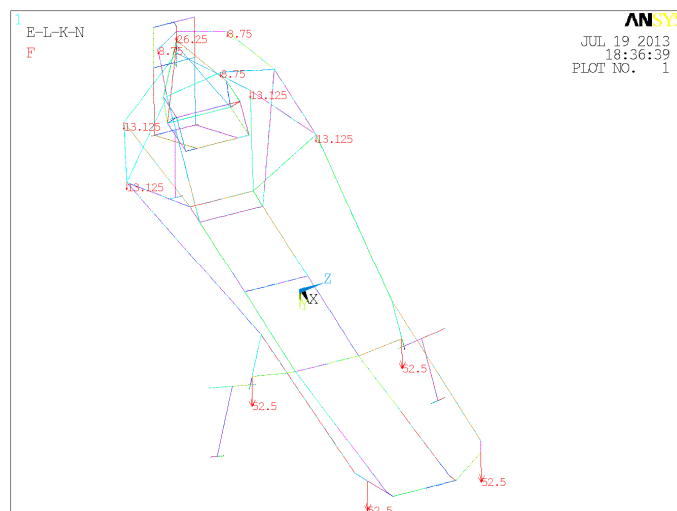


Figura 9.37. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.

Las cargas debidas al asiento, obtenidas en el anexo VII, se aplican en las barras de rojas de la Figura 9.38. Anotándose las cargas en las barras en la Tabla 9.35 y en las uniones en la Tabla 9.36.

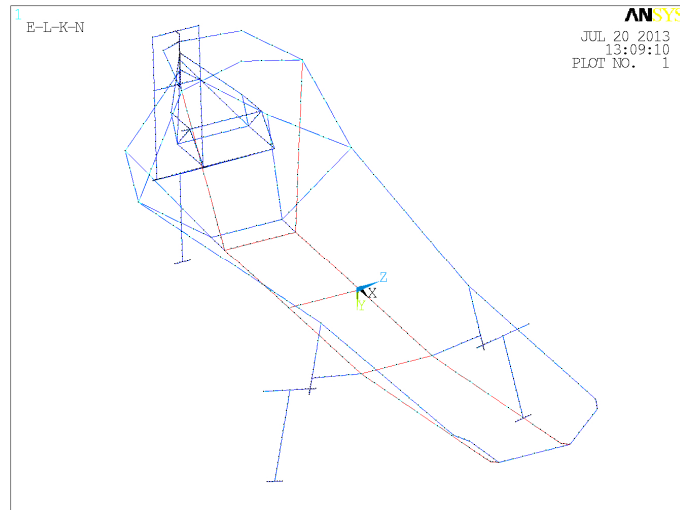


Figura 9.38. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 3 de la estructura 1.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
36 y 54	1970	1920	55	$8,914 \cdot 10^{-4}$	2	$2,971 \cdot 10^{-4}$
112 y 120	1920	1835	80	$1,973 \cdot 10^{-3}$	3	$4,932 \cdot 10^{-4}$
118 y 124	1835	1515	320	$4,720 \cdot 10^{-3}$	6	$6,744 \cdot 10^{-4}$
119 y 121	1515	1200	315	$5,242 \cdot 10^{-3}$	6	$7,488 \cdot 10^{-4}$
90 y 94	1200	800	385	$9,038 \cdot 10^{-3}$	12	$6,952 \cdot 10^{-4}$
122 y 123	800	700	115	$2,561 \cdot 10^{-3}$	2	$8,538 \cdot 10^{-4}$
113-126 y 114-127	700	445	240	$6,144 \cdot 10^{-3}$	9	$6,144 \cdot 10^{-4}$
110 y 111	445	436	824	$1,916 \cdot 10^{-4}$	2	$6,386 \cdot 10^{-5}$
106 y 107	436	420	16	$1,742 \cdot 10^{-2}$	3	$4,355 \cdot 10^{-3}$
115 y 125	420	370	35	$2,726 \cdot 10^{-2}$	6	$3,895 \cdot 10^{-3}$
32 y 50	1970	1970	100	$3,382 \cdot 10^{-4}$	6	$4,83 \cdot 10^{-5}$
63 y 108	1200	1200	100	$6,547 \cdot 10^{-3}$	11	$5,456 \cdot 10^{-4}$
68 y 109	800	800	100	$1,400 \cdot 10^{-2}$	10	$1,273 \cdot 10^{-3}$
45 y 104	445	445	100	$2,043 \cdot 10^{-3}$	3	$2,554 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.35. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 3 de la estructura 1.

Puntos	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga longitudinal (N)	Carga horizontal (N)	Carga vertical (N)
61 y 97	1970	(+/-) 100	330,2	$3,2942 \cdot 10^{-1}$	1,1216	$1,0833 \cdot 10^{-1}$
69 y 105	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$6,6296 \cdot 10^{-2}$
23 y 43	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,1018 \cdot 10^{-2}$
41 y 42	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$4,4504 \cdot 10^{-2}$
67 y 103	1200	(+/-) 100	240	$-2,1145 \cdot 10^{-1}$	$6,2186 \cdot 10^{-1}$	$3,1326 \cdot 10^{-1}$
135 y 136	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,0852 \cdot 10^{-1}$
39 y 40	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,6369 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,5674 \cdot 10^{-1}$
31 y 33	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,3311 \cdot 10^{-3}$
30 y 34	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,2117 \cdot 10^{-2}$
73 y 109	370	(+/-) 170	690	$-1,1797 \cdot 10^{-1}$	$5,9344 \cdot 10^{-1}$	$5,4122 \cdot 10^{-1}$
18	1970	0	250	0	0	$-3,9251 \cdot 10^{-2}$
17	1200	0	240	0	0	$-9,6584 \cdot 10^{-2}$
63	800	0	330,2	0	0	$1,1887 \cdot 10^{-1}$
-	445	0	275	0	0	$5,4299 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.36. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 3 de la estructura 1.

9.3.4.2. Cargas específicas del ensayo 3 para la estructura 2:

Para la estructura 2, la carga de 700N se aplica en la unión del arco de seguridad y el larguero superior derecho como se observa en la Figura 9.39.

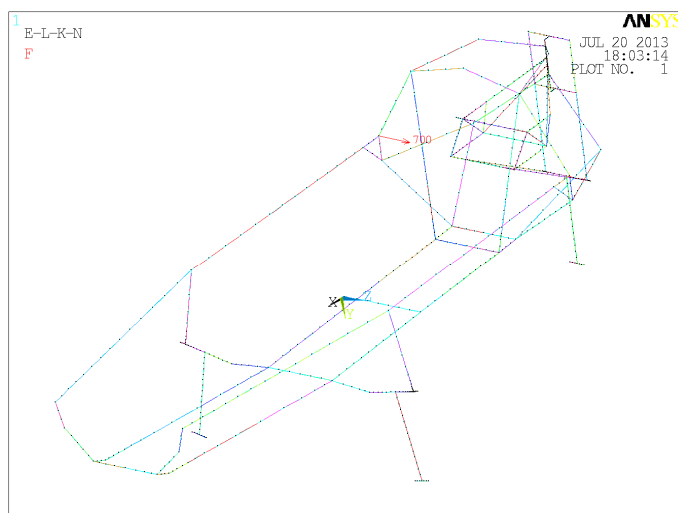


Figura 9.39. Representación de la carga de 700N del ensayo 3 para la estructura 2.

Las cargas debidas al peso de la carrocería junto a sus puntos de aplicación se recogen en la Tabla 9.37 y se representan sobre la estructura 2 en la Figura 9.40.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	200	480
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-200	480
Soporte exterior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	310	480
Soporte exterior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-310	480
Soporte interior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	217	228
Soporte interior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-217	228
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	648

Tabla 9.37. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 3 de la estructura 2.

Las cargas del asiento obtenidas en el anexo VII se aplican sobre las barras de la estructura de color rojo en la Figura 9.41, recogiendo sus valores en la Tabla 9.38 y en la Tabla 9.39.

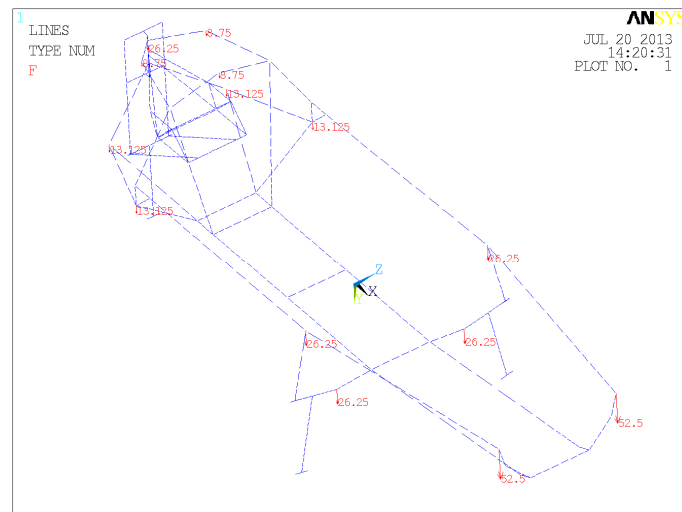


Figura 9.40. Representación de los puntos de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.

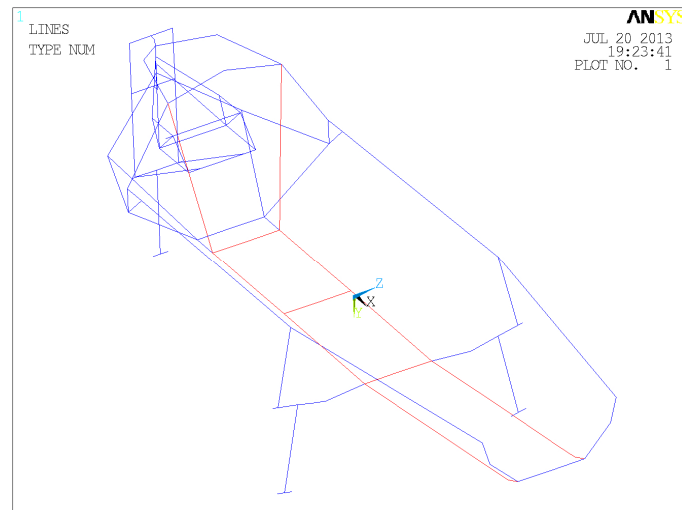


Figura 9.41. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 3 de la estructura 2.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
29 y 33	1970	1920	55	$9,018 \cdot 10^{-4}$	2	$3,006 \cdot 10^{-4}$
30 y 32	1920	1835	80	$1,961 \cdot 10^{-3}$	3	$4,903 \cdot 10^{-4}$
135 y 136	1835	1515	320	$6,315 \cdot 10^{-3}$	4	$1,263 \cdot 10^{-3}$
129 y 131	1515	1200	315	$6,873 \cdot 10^{-3}$	4	$1,375 \cdot 10^{-3}$
88 y 90	1200	800	385	$8,504 \cdot 10^{-3}$	11	$7,087 \cdot 10^{-4}$
133 y 134	800	700	115	$2,544 \cdot 10^{-3}$	2	$8,480 \cdot 10^{-4}$
127 y 128	700	445	240	$6,152 \cdot 10^{-3}$	9	$6,152 \cdot 10^{-4}$
28 y 32	445	436	824	$1,993 \cdot 10^{-4}$	2	$6,645 \cdot 10^{-5}$
113 y 114	436	420	16	$1,830 \cdot 10^{-2}$	3	$4,574 \cdot 10^{-3}$
76 y 110	420	370	35	$2,766 \cdot 10^{-2}$	6	$3,951 \cdot 10^{-3}$
45 y 73	1970	1970	100	$3,072 \cdot 10^{-4}$	6	$4,389 \cdot 10^{-5}$
55 y 89	1200	1200	100	$4,787 \cdot 10^{-3}$	2	$1,596 \cdot 10^{-3}$
34 y 111	800	800	100	$1,301 \cdot 10^{-2}$	2	$4,338 \cdot 10^{-3}$
109 y 115	445	445	100	$2,598 \cdot 10^{-3}$	3	$3,248 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.38. . *Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 3 de la estructura 2.*

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
57 y 65	1970	(+/-) 100	330,2	$6,022 \cdot 10^{-1}$	1,115	$2,090 \cdot 10^{-1}$
55 y 63	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$9,163 \cdot 10^{-2}$
50 y 56	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,258 \cdot 10^{-2}$
49 y 54	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$3,887 \cdot 10^{-2}$
53 y 61	1200	(+/-) 100	240	$-5,041 \cdot 10^{-1}$	1,033	$1,606 \cdot 10^{-1}$
67 y 68	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,112 \cdot 10^{-1}$
44 y 47	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,461 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,596 \cdot 10^{-1}$
27 y 28	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,640 \cdot 10^{-3}$
30 y 31	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,267 \cdot 10^{-2}$
71 y 75	370	(+/-) 170	690	$-9,817 \cdot 10^{-2}$	$5,453 \cdot 10^{-1}$	$4,218 \cdot 10^{-1}$
89	1970	0	250	0	0	0
17	1200	0	240	0	0	$-1,007 \cdot 10^{-1}$
18	800	0	330,2	0	0	$1,119 \cdot 10^{-1}$
19	445	0	275	0	0	$1,084 \cdot 10^{-2}$

Tabla 9.39. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 3 de la estructura 2.

9.3.4.3. Cargas específicas del ensayo 3 para la estructura 3:

Para la estructura 3, la carga de 700N se aplica de la forma indicada en la Figura 9.42.



Figura 9.42. Representación de la carga de 700N del ensayo 3 para la estructura 3.

La distribución de cargas de la carrocería junto a los puntos de aplicación de dichas cargas se recoge en la Tabla 9.40 y se representa sobre la estructura 3 en la Figura 9.43.

Las cargas del asiento obtenidas según el procedimiento detallado en el anexo VII se aplican sobre la estructura de dos formas. Por un lado las cargas transmitidas como presiones a las barras y que se recogen en la Tabla 9.41 y por otro lado las cargas en las uniones que se recogen en la Tabla 9.42.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	5/36	29,17	43,75	1970	180	410,2
Soporte delantero central	1/18	11,67	17,5	1970	0	310,2
Soporte delantero derecho	5/36	29,17	43,75	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	5/36	29,17	43,75	1200	238	262
Soporte central eje	1/36	5,84	8,75	1200	0	220
Soporte derecho eje	5/36	29,17	43,75	1200	-238	262
Soporte central travesaño	1/36	5,84	8,75	800	0	230
Soporte arco seguridad izquierdo	1/30	7	10,5	370	300	410,2
Soporte arco seguridad inferior	1/30	7	10,5	370	0	240
Soporte arco seguridad derecho	1/30	7	10,5	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/30	7	10,5	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/30	7	10,5	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.40. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 3 de la estructura 3.

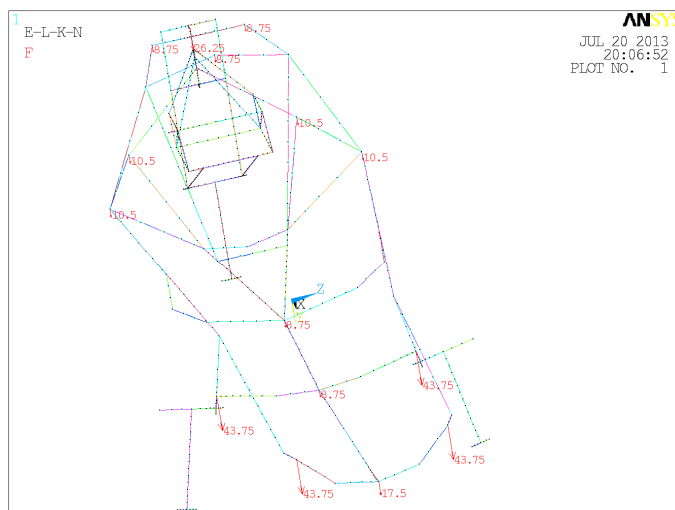


Figura 9.43. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
59	1970	1920	55	$1,050 \cdot 10^{-2}$	2	$3,500 \cdot 10^{-3}$
124	1920	1835	80	$9,591 \cdot 10^{-3}$	3	$2,398 \cdot 10^{-3}$
125	1835	1515	320	$1,303 \cdot 10^{-2}$	4	$2,607 \cdot 10^{-3}$
123	1515	1200	315	$9,111 \cdot 10^{-3}$	4	$1,822 \cdot 10^{-3}$
57	1200	800	385	$4,502 \cdot 10^{-3}$	11	$3,752 \cdot 10^{-4}$
113 y 114	800	700	115	$2,346 \cdot 10^{-3}$	2	$7,821 \cdot 10^{-4}$
31 y 58	700	445	240	$9,653 \cdot 10^{-3}$	8	$1,073 \cdot 10^{-3}$
61 y 111	445	420	824	$5,034 \cdot 10^{-4}$	3	$1,258 \cdot 10^{-4}$
115 y 116	420	370	16	$6,917 \cdot 10^{-2}$	5	$1,153 \cdot 10^{-2}$
33 y 48	1970	1970	100	$5,374 \cdot 10^{-4}$	3	$1,344 \cdot 10^{-4}$
51 y 52	1200	1200	100	0	2	0
66 y 67	800	800	100	$1,089 \cdot 10^{-2}$	5	$1,815 \cdot 10^{-3}$
108 y 109	445	445	100	$4,460 \cdot 10^{-3}$	2	$7,434 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.41. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 3 de la estructura 3.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
63 y 93	1970	(+/-) 100	330,2	1,6190	$2,269 \cdot 10^{-1}$	$8,228 \cdot 10^{-1}$
65	1970	0	310,2	0	0	$-1,972 \cdot 10^{-2}$
115	1920	0	300,2	0	0	$3,519 \cdot 10^{-2}$
36	1835	0	290,7	0	0	$-6,876 \cdot 10^{-1}$
35	1515	0	255	0	0	$1,817 \cdot 10^{-2}$
99 y 103	1200	(+/-) 100	230	-1,517	2,986	$7,135 \cdot 10^{-1}$
101	1200	0	220	0	0	$1,174 \cdot 10^{-1}$
129 y 133	800	(+/-) 180	270,2	0	0	$6,066 \cdot 10^{-1}$
114	800	0	230	0	0	$-9,370 \cdot 10^{-3}$
17 y 18	700	(+/-) 23,4	237	0	0	$4,756 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 83	255	0	0	$-2,739 \cdot 10^{-2}$
23	445	0	255	0	0	$5,366 \cdot 10^{-2}$
19 y 20	420	(+/-) 112	400,2	0	0	$1,340 \cdot 10^{-1}$
51 y 71	370	(+/-) 170	690	$-1,022 \cdot 10^{-1}$	$4,865 \cdot 10^{-1}$	$5,167 \cdot 10^{-1}$

Tabla 9.42. . Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 3 de la estructura 3.

Siendo las zonas sobre las que se aplican las cargas de la Tabla 9.41 y de la Tabla 9.42 las correspondientes a las barras de color rojo representadas en la Figura 9.44.

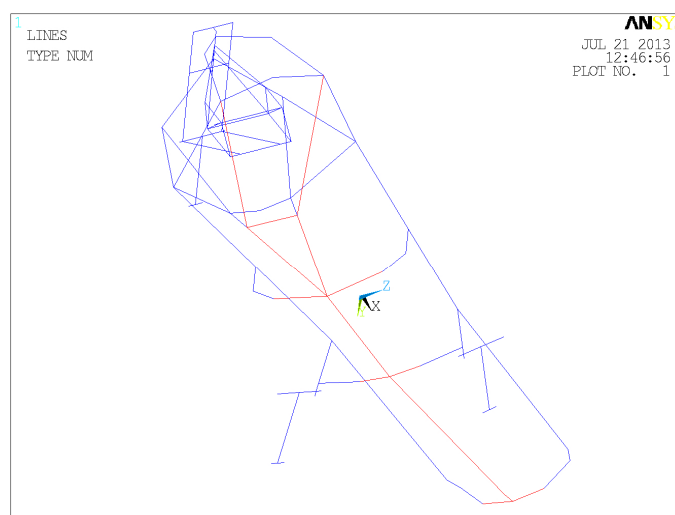


Figura 9.44. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 3 de la estructura 3.

9.3.5. Ensayo 3b:

Este ensayo como los ensayos 2, 2b y 3 recrea la prueba de resistencia que debe superar el arco de seguridad del prototipo según se define el ensayo en el apartado 8.4.1 del presente proyecto y se recoge en la normativa de la competición [97].

Las restricciones que se aplican en este ensayo son: en el punto de contacto rueda trasera con la calzada se restringen los desplazamientos en los tres ejes, en el punto de contacto de la rueda

delantera izquierda se restringen los desplazamientos lateral y vertical, y por último en el punto de contacto de la rueda delantera derecha se restringe el desplazamiento vertical. En la Figura 9.45 se indican sobre el modelo de la estructura 1.0 dichas restricciones, siendo las mismas para las tres estructuras.

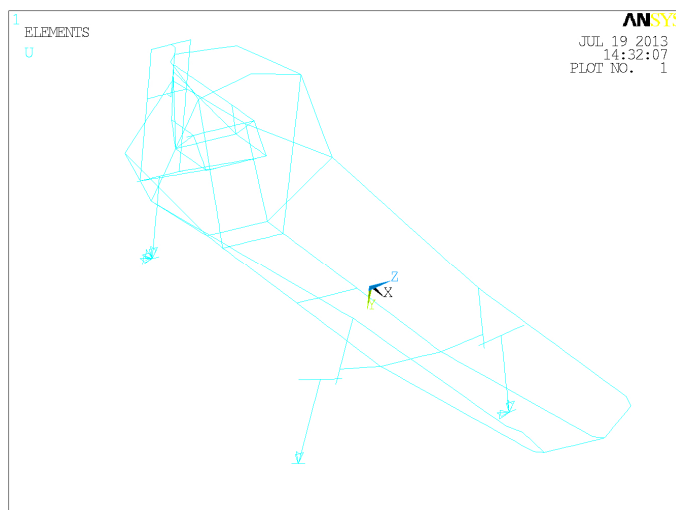


Figura 9.45. Restricciones al desplazamiento del ensayo 3b.

Las cargas aplicadas en este ensayo son: la carga de 700N recogida en la normativa y las consecuentes de los pesos del motor, del embrague, del extintor, de la carrocería y del asiento. En la Tabla 9.43 se recogen las cargas debidas a los pesos del motor, del embrague y del extintor, así como los puntos de aplicación de las mismas.

Elemento	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Motor en orden de marcha	33	49,5	269	-122	520
Transmisión	12	18	269	60,6	520
Extintor	21,5	32,25	370	0	260

Tabla 9.43. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 3b.

Representándose en la Figura 9.46 sus cargas indicando su dirección y sentido sobre la estructura 1.0 al ser los pesos del motor, del embrague y del extintor idénticos para las tres estructuras y estar aplicados en las tres estructuras en los mismos puntos.

La carga de 700N, así como las cargas debidas a los pesos de la carrocería y el asiento, al depender de la estructura analizada se detallan en los siguientes subapartados.

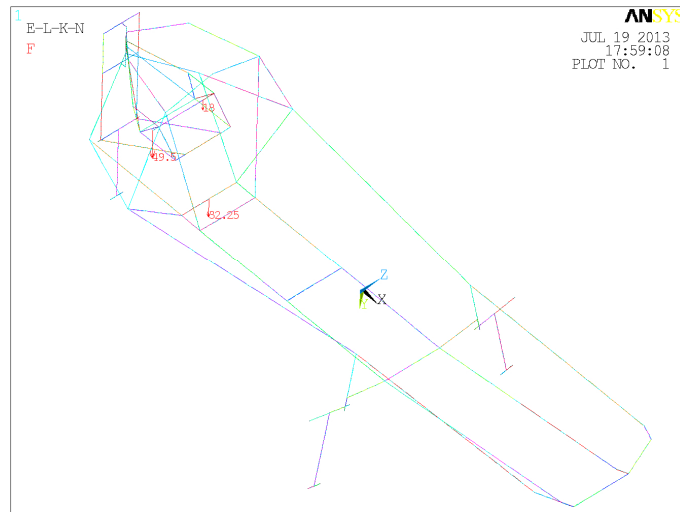


Figura 9.46. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.

9.3.5.1. Cargas específicas del ensayo 3b para la estructura 1:

Para la estructura 1, la localización y dirección de la carga de 700N se representa en la Figura 9.47.

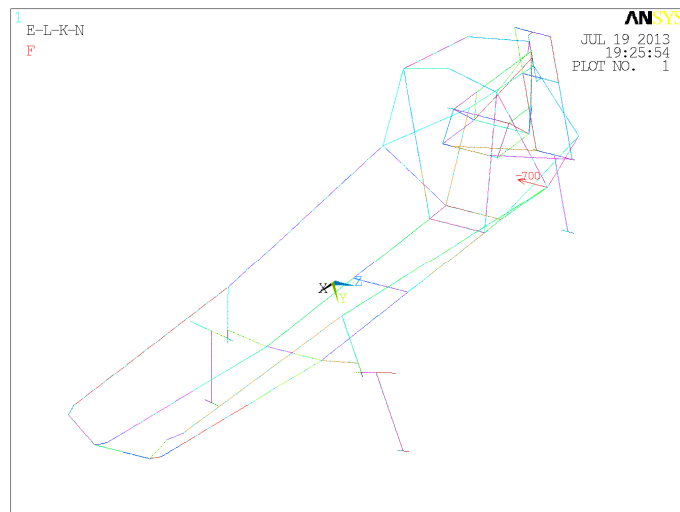


Figura 9.47. Representación del punto de aplicación y de la dirección de la carga de 700N del ensayo 3b para la estructura 1.

Para la estructura 1 la distribución de cargas debidas al peso de la carrocería se detalla en la Tabla 9.44 junto a las coordenadas de los puntos de aplicación de dichas cargas. Representándose dichas cargas con su dirección y sentido en la Figura 9.50.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	180	410,2
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	1/6	35	52,5	1200	238	262
Soporte derecho eje	1/6	35	52,5	1200	-238	262
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.44. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 3b de la estructura 1.

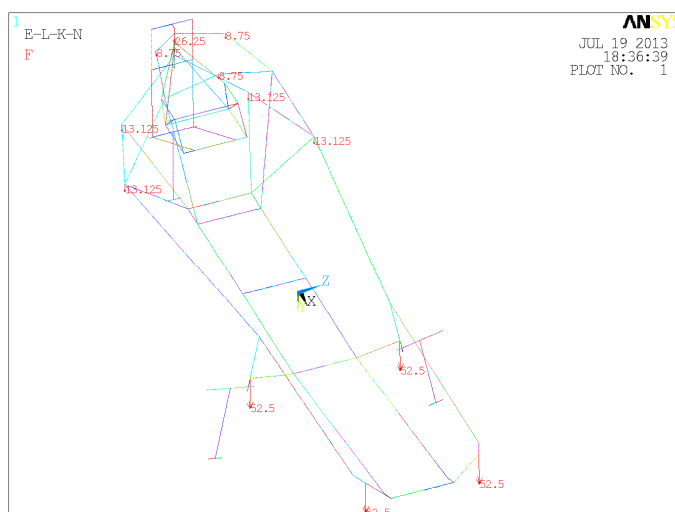


Figura 9.48. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.

Las cargas debidas al peso del asiento, calculadas procesando los resultados obtenidos de realizar un ensayo de elementos finitos al modelo del asiento, coaccionado como si estuviese montado en la estructura del prototipo, detallándose este proceso en el anexo VII, se aplican sobre las barras marcadas de color rojo en la Figura 9.49. Estas cargas es conveniente separarlas en dos tipos, las que se aplican como presiones sobre las barras y las que se aplican como cargas puntuales en las uniones de las barras. Los valores a aplicar sobre la estructura de las primeras se recogen en la Tabla 9.45 y los valores a aplicar de las segundas se recogen en la Tabla 9.46.

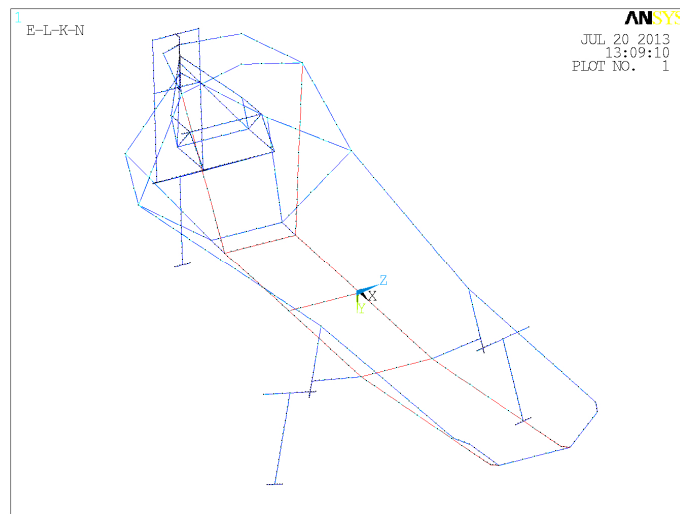


Figura 9.49. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 3b de la estructura 1.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
36 y 54	1970	1920	55	$8,914 \cdot 10^{-4}$	2	$2,971 \cdot 10^{-4}$
112 y 120	1920	1835	80	$1,973 \cdot 10^{-3}$	3	$4,932 \cdot 10^{-4}$
118 y 124	1835	1515	320	$4,720 \cdot 10^{-3}$	6	$6,744 \cdot 10^{-4}$
119 y 121	1515	1200	315	$5,242 \cdot 10^{-3}$	6	$7,488 \cdot 10^{-4}$
90 y 94	1200	800	385	$9,038 \cdot 10^{-3}$	12	$6,952 \cdot 10^{-4}$
122 y 123	800	700	115	$2,561 \cdot 10^{-3}$	2	$8,538 \cdot 10^{-4}$
113-126 y 114-127	700	445	240	$6,144 \cdot 10^{-3}$	9	$6,144 \cdot 10^{-4}$
110 y 111	445	436	824	$1,916 \cdot 10^{-4}$	2	$6,386 \cdot 10^{-5}$
106 y 107	436	420	16	$1,742 \cdot 10^{-2}$	3	$4,355 \cdot 10^{-3}$
115 y 125	420	370	35	$2,726 \cdot 10^{-2}$	6	$3,895 \cdot 10^{-3}$
32 y 50	1970	1970	100	$3,382 \cdot 10^{-4}$	6	$4,83 \cdot 10^{-5}$
63 y 108	1200	1200	100	$6,547 \cdot 10^{-3}$	11	$5,456 \cdot 10^{-4}$
68 y 109	800	800	100	$1,400 \cdot 10^{-2}$	10	$1,273 \cdot 10^{-3}$
45 y 104	445	445	100	$2,043 \cdot 10^{-3}$	3	$2,554 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.45. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 3b de la estructura 1.

Puntos	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga longitudinal (N)	Carga horizontal (N)	Carga vertical (N)
61 y 97	1970	(+/-) 100	330,2	$3,2942 \cdot 10^{-1}$	1,1216	$1,0833 \cdot 10^{-1}$
69 y 105	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$6,6296 \cdot 10^{-2}$
23 y 43	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,1018 \cdot 10^{-2}$
41 y 42	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$4,4504 \cdot 10^{-2}$
67 y 103	1200	(+/-) 100	240	$-2,1145 \cdot 10^{-1}$	$6,2186 \cdot 10^{-1}$	$3,1326 \cdot 10^{-1}$
135 y 136	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,0852 \cdot 10^{-1}$
39 y 40	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,6369 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,5674 \cdot 10^{-1}$
31 y 33	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,3311 \cdot 10^{-3}$
30 y 34	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,2117 \cdot 10^{-2}$
73 y 109	370	(+/-) 170	690	$-1,1797 \cdot 10^{-1}$	$5,9344 \cdot 10^{-1}$	$5,4122 \cdot 10^{-1}$
18	1970	0	250	0	0	$-3,9251 \cdot 10^{-2}$
17	1200	0	240	0	0	$-9,6584 \cdot 10^{-2}$
63	800	0	330,2	0	0	$1,1887 \cdot 10^{-1}$
-	445	0	275	0	0	$5,4299 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.46. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 3b de la estructura 1.

9.3.5.2. Cargas específicas del ensayo 3b para la estructura 2:

La carga de 700N, en el caso de la estructura 2, se aplica en la unión del larguero superior izquierdo con el arco de seguridad como se aprecia en la Figura 9.50.

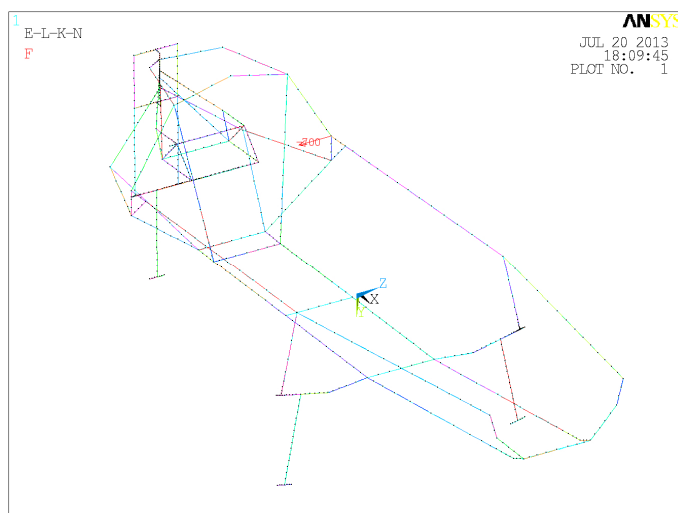


Figura 9.50. Representación de la carga de 700N del ensayo 3b para la estructura 2.

Las cargas debidas al peso de la carrocería se recogen en la Tabla 9.47 junto a los puntos de aplicación de las mismas y se representan sobre la estructura 2 en la Figura 9.51.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	200	480
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-200	480
Soporte exterior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	310	480
Soporte exterior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-310	480
Soporte interior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	217	228
Soporte interior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-217	228
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	648

Tabla 9.47. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 3b de la estructura 2.

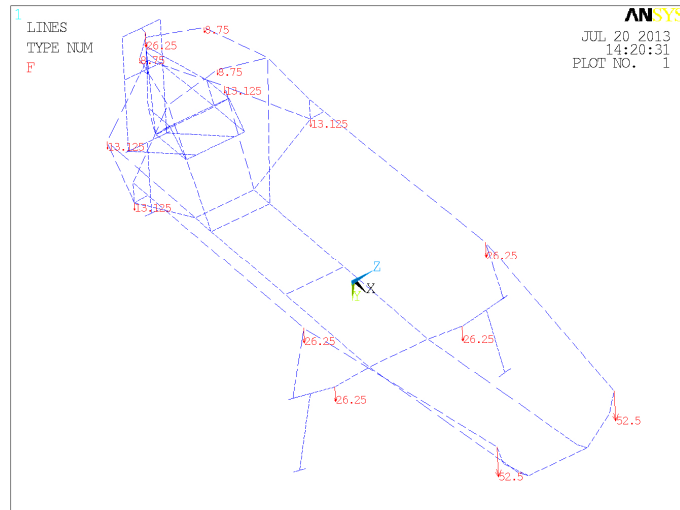


Figura 9.51. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.

Las cargas debidas al peso del asiento, obtenidas en el anexo VII, se resumen en la Tabla 9.48 para las aplicadas sobre las barras y en la Tabla 9.49 para las aplicadas en las uniones de las barras.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
29 y 33	1970	1920	55	$9,018 \cdot 10^{-4}$	2	$3,006 \cdot 10^{-4}$
30 y 32	1920	1835	80	$1,961 \cdot 10^{-3}$	3	$4,903 \cdot 10^{-4}$
135 y 136	1835	1515	320	$6,315 \cdot 10^{-3}$	4	$1,263 \cdot 10^{-3}$
129 y 131	1515	1200	315	$6,873 \cdot 10^{-3}$	4	$1,375 \cdot 10^{-3}$
88 y 90	1200	800	385	$8,504 \cdot 10^{-3}$	11	$7,087 \cdot 10^{-4}$
133 y 134	800	700	115	$2,544 \cdot 10^{-3}$	2	$8,480 \cdot 10^{-4}$
127 y 128	700	445	240	$6,152 \cdot 10^{-3}$	9	$6,152 \cdot 10^{-4}$
28 y 32	445	436	824	$1,993 \cdot 10^{-4}$	2	$6,645 \cdot 10^{-5}$
113 y 114	436	420	16	$1,830 \cdot 10^{-2}$	3	$4,574 \cdot 10^{-3}$
76 y 110	420	370	35	$2,766 \cdot 10^{-2}$	6	$3,951 \cdot 10^{-3}$
45 y 73	1970	1970	100	$3,072 \cdot 10^{-4}$	6	$4,389 \cdot 10^{-5}$
55 y 89	1200	1200	100	$4,787 \cdot 10^{-3}$	2	$1,596 \cdot 10^{-3}$
34 y 111	800	800	100	$1,301 \cdot 10^{-2}$	2	$4,338 \cdot 10^{-3}$
109 y 115	445	445	100	$2,598 \cdot 10^{-3}$	3	$3,248 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.48. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 3b de la estructura 2.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
57 y 65	1970	(+/-) 100	330,2	$6,022 \cdot 10^{-1}$	1,115	$2,090 \cdot 10^{-1}$
55 y 63	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$9,163 \cdot 10^{-2}$
50 y 56	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,258 \cdot 10^{-2}$
49 y 54	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$3,887 \cdot 10^{-2}$
53 y 61	1200	(+/-) 100	240	$-5,041 \cdot 10^{-1}$	1,033	$1,606 \cdot 10^{-1}$
67 y 68	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,112 \cdot 10^{-1}$
44 y 47	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,461 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,596 \cdot 10^{-1}$
27 y 28	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,640 \cdot 10^{-3}$
30 y 31	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,267 \cdot 10^{-2}$
71 y 75	370	(+/-) 170	690	$-9,817 \cdot 10^{-2}$	$5,453 \cdot 10^{-1}$	$4,218 \cdot 10^{-1}$
89	1970	0	250	0	0	0
17	1200	0	240	0	0	$-1,007 \cdot 10^{-1}$
18	800	0	330,2	0	0	$1,119 \cdot 10^{-1}$
19	445	0	275	0	0	$1,084 \cdot 10^{-2}$

Tabla 9.49. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 3b de la estructura 2.

En la Figura 9.52 se indican en color rojo las barras sobre las que se aplican las cargas debidas al peso del asiento.

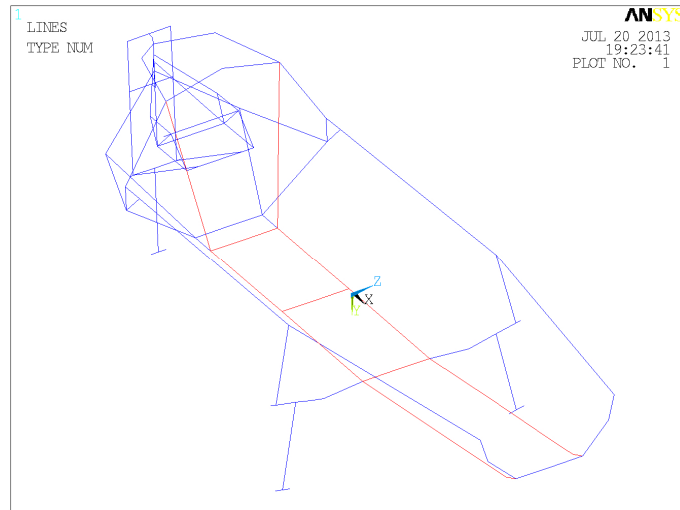


Figura 9.52. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 3b de la estructura 2.

9.3.5.3. Cargas específicas del ensayo 3b para la estructura 3:

En la estructura 3, la carga de 700 N se aplica en la unión del larguero superior izquierdo con el arco de seguridad como se puede apreciar en la Figura 9.53.

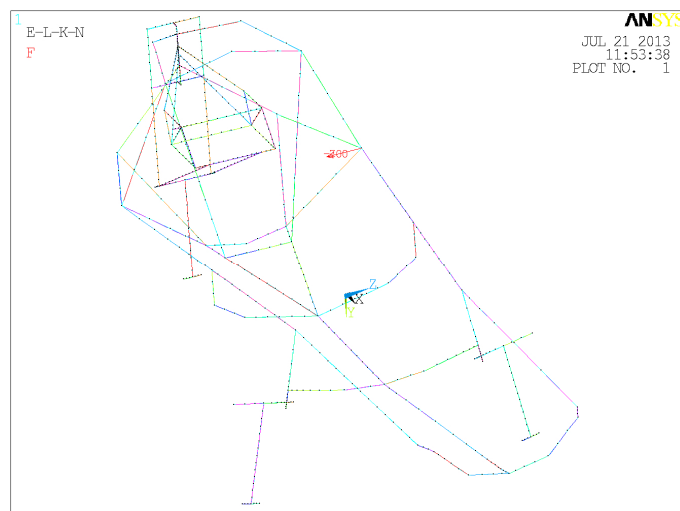


Figura 9.53. Representación de la carga de 700N del ensayo 3b para la estructura 3.

La distribución de cargas debida al peso de la carrocería junto con sus puntos de aplicación se recoge en la Tabla 9.50 y se representa sobre la estructura 3 en la Figura 9.54.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	5/36	29,17	43,75	1970	180	410,2
Soporte delantero central	1/18	11,67	17,5	1970	0	310,2
Soporte delantero derecho	5/36	29,17	43,75	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	5/36	29,17	43,75	1200	238	262
Soporte central eje	1/36	5,84	8,75	1200	0	220
Soporte derecho eje	5/36	29,17	43,75	1200	-238	262
Soporte central travesaño	1/36	5,84	8,75	800	0	230
Soporte arco seguridad izquierdo	1/30	7	10,5	370	300	410,2
Soporte arco seguridad inferior	1/30	7	10,5	370	0	240
Soporte arco seguridad derecho	1/30	7	10,5	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/30	7	10,5	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/30	7	10,5	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.50. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 3b de la estructura 3.

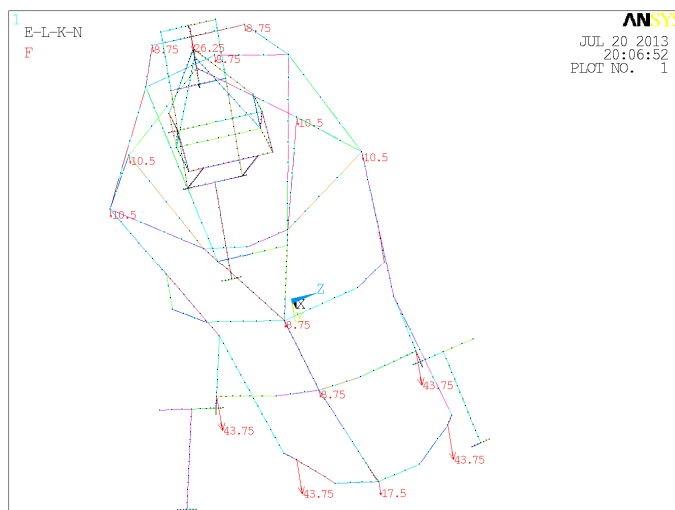


Figura 9.54. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.

Las cargas debidas al peso del asiento se aplican sobre las barras marcadas en color rojo en la Figura 9.55 habiéndose obtenido sus datos del procesado de los resultados de un ensayo de elementos finitos al que se ha sometido al asiento simulando sus uniones y puntos de apoyo a la estructura como se detalla en el anexo VII. Estas cargas es conveniente, por razones de claridad en la aplicación, separarlas en cargas aplicadas sobre las barras como carga distribuida y en cargas puntuales en las uniones. Las cargas distribuidas se recogen junto las barras sobre las que se aplican en la Tabla 9.51 y las cargas puntuales se recogen en la Tabla 9.52 junto a las coordenadas de sus puntos de aplicación.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
59	1970	1920	55	$1,050 \cdot 10^{-2}$	2	$3,500 \cdot 10^{-3}$
124	1920	1835	80	$9,591 \cdot 10^{-3}$	3	$2,398 \cdot 10^{-3}$
125	1835	1515	320	$1,303 \cdot 10^{-2}$	4	$2,607 \cdot 10^{-3}$
123	1515	1200	315	$9,111 \cdot 10^{-3}$	4	$1,822 \cdot 10^{-3}$
57	1200	800	385	$4,502 \cdot 10^{-3}$	11	$3,752 \cdot 10^{-4}$
113 y 114	800	700	115	$2,346 \cdot 10^{-3}$	2	$7,821 \cdot 10^{-4}$
31 y 58	700	445	240	$9,653 \cdot 10^{-3}$	8	$1,073 \cdot 10^{-3}$
61 y 111	445	420	824	$5,034 \cdot 10^{-4}$	3	$1,258 \cdot 10^{-4}$
115 y 116	420	370	16	$6,917 \cdot 10^{-2}$	5	$1,153 \cdot 10^{-2}$
33 y 48	1970	1970	100	$5,374 \cdot 10^{-4}$	3	$1,344 \cdot 10^{-4}$
51 y 52	1200	1200	100	0	2	0
66 y 67	800	800	100	$1,089 \cdot 10^{-2}$	5	$1,815 \cdot 10^{-3}$
108 y 109	445	445	100	$4,460 \cdot 10^{-3}$	2	$7,434 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.51. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 3b de la estructura 3.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
63 y 93	1970	(+/-) 100	330,2	1,6190	$2,269 \cdot 10^{-1}$	$8,228 \cdot 10^{-1}$
65	1970	0	310,2	0	0	$-1,972 \cdot 10^{-2}$
115	1920	0	300,2	0	0	$3,519 \cdot 10^{-2}$
36	1835	0	290,7	0	0	$-6,876 \cdot 10^{-1}$
35	1515	0	255	0	0	$1,817 \cdot 10^{-2}$
99 y 103	1200	(+/-) 100	230	-1,517	2,986	$7,135 \cdot 10^{-1}$
101	1200	0	220	0	0	$1,174 \cdot 10^{-1}$
129 y 133	800	(+/-) 180	270,2	0	0	$6,066 \cdot 10^{-1}$
114	800	0	230	0	0	$-9,370 \cdot 10^{-3}$
17 y 18	700	(+/-) 23,4	237	0	0	$4,756 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 83	255	0	0	$-2,739 \cdot 10^{-2}$
23	445	0	255	0	0	$5,366 \cdot 10^{-2}$
19 y 20	420	(+/-) 112	400,2	0	0	$1,340 \cdot 10^{-1}$
51 y 71	370	(+/-) 170	690	$-1,022 \cdot 10^{-1}$	$4,865 \cdot 10^{-1}$	$5,167 \cdot 10^{-1}$

Tabla 9.52. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 3b de la estructura 3.

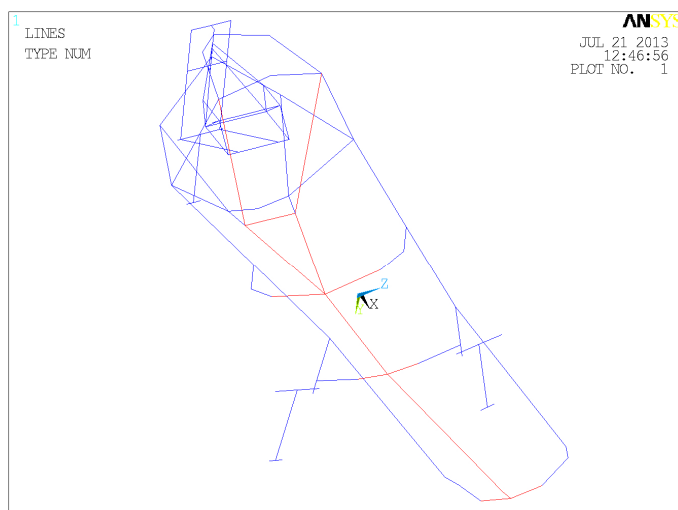


Figura 9.55. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 3b de la estructura 3.

9.3.6. Ensayo 4:

El presente ensayo corresponde con la penúltima recreación del ensayo de resistencia del arco de seguridad del prototipo definido en el apartado 8.4.1. del presente proyecto y recogido en la normativa de la competición [97].

Las restricciones que se aplican en este ensayo son: en el punto de contacto rueda trasera con la calzada se restringen los desplazamientos en los tres ejes, en el punto de contacto de la rueda delantera izquierda se restringen los desplazamientos lateral y vertical, y por último en el punto de contacto de la rueda delantera derecha se restringe el desplazamiento vertical. En la Figura 9.56 se indican dichas restricciones sobre el modelo de la estructura 1.0 al ser las mismas para las tres estructuras.

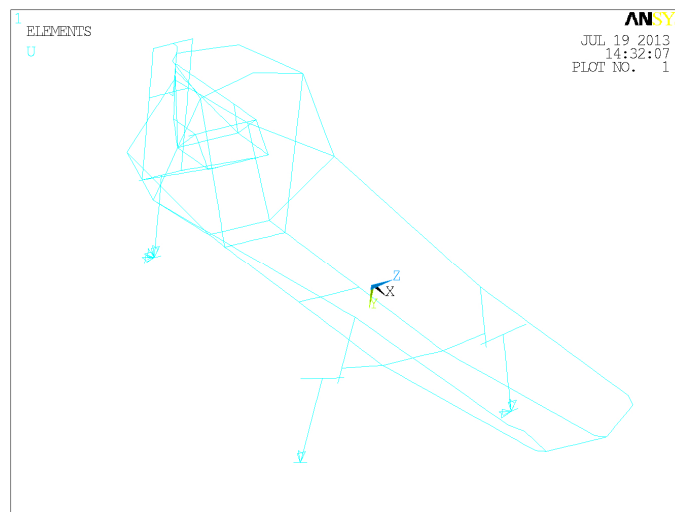


Figura 9.56. Restricciones al desplazamiento del ensayo 4.

Las cargas aplicadas en este ensayo son: la carga de 700N recogida en la normativa, las cargas debidas a los pesos del motor, del embrague, del extintor, de la carrocería y del asiento. En este ensayo la carga de 700N se aplica en el punto superior del arco de seguridad en la dirección vertical positiva como se representa en la Figura 9.57.

Y las cargas debidas al peso del motor, del embrague y del extintor al ser comunes para las 3 estructuras se recogen en la Tabla 9.53 junto a las coordenadas de sus puntos de aplicación. Estas cargas se representan sobre la estructura 1 en la Figura 9.58.

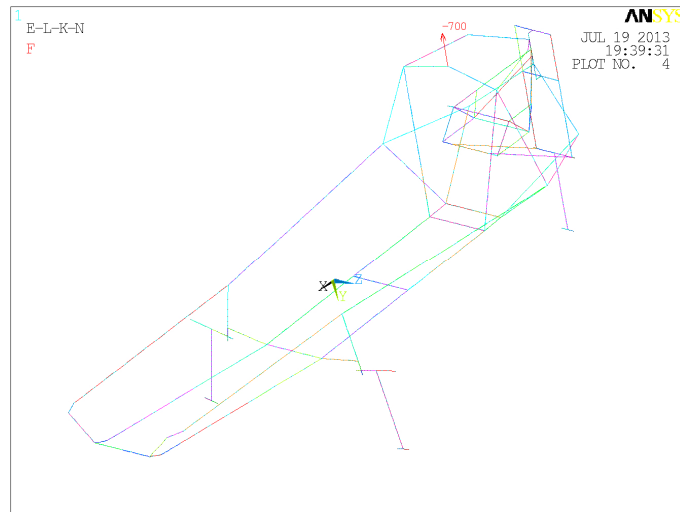


Figura 9.57. Representación de la carga de 700N del ensayo 4.

Elemento	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Motor en orden de marcha	33	49,5	269	-122	520
Transmisión	12	18	269	60,6	520
Extintor	21,5	32,25	370	0	260

Tabla 9.53. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 4.

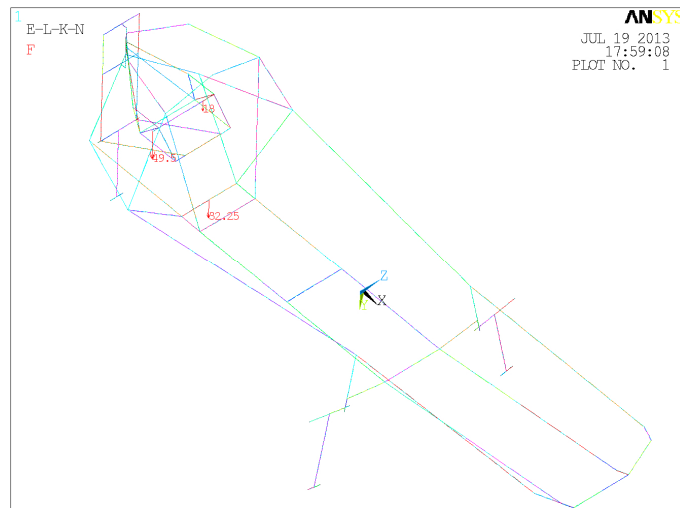


Figura 9.58. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.

Al depender el resto de cargas de la estructura analizada, se procede en los siguientes subapartados a indicar dichas cargas para cada estructura.

9.3.6.1. Cargas específicas del ensayo 4 para la estructura 1:

Las cargas debidas al peso de la carrocería se detallan en la Tabla 9.54 junto a las coordenadas de sus puntos de aplicación.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	180	410,2
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	1/6	35	52,5	1200	238	262
Soporte derecho eje	1/6	35	52,5	1200	-238	262
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.54. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 4 de la estructura 1.

Y en la Figura 9.59 se representan las cargas debidas al peso de la carrocería sobre la estructura 1.

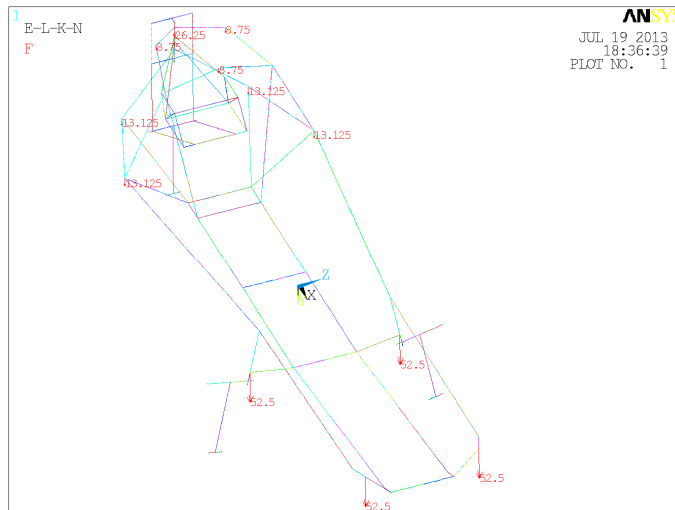


Figura 9.59. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.

Las cargas debidas al peso del asiento para la estructura 1 se han obtenido mediante el procedimiento detallado en el anexo VII recogiendo en la Tabla 9.55 las cargas que se aplican sobre las barras de la estructura y en la Tabla 9.56 las cargas que se aplican en las uniones de las barras. En la Figura 9.60 se han marcado de color rojo las barras sobre las que se aplican las cargas debidas al peso del asiento.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
36 y 54	1970	1920	55	$8,914 \cdot 10^{-4}$	2	$2,971 \cdot 10^{-4}$
112 y 120	1920	1835	80	$1,973 \cdot 10^{-3}$	3	$4,932 \cdot 10^{-4}$
118 y 124	1835	1515	320	$4,720 \cdot 10^{-3}$	6	$6,744 \cdot 10^{-4}$
119 y 121	1515	1200	315	$5,242 \cdot 10^{-3}$	6	$7,488 \cdot 10^{-4}$
90 y 94	1200	800	385	$9,038 \cdot 10^{-3}$	12	$6,952 \cdot 10^{-4}$
122 y 123	800	700	115	$2,561 \cdot 10^{-3}$	2	$8,538 \cdot 10^{-4}$
113-126 y 114-127	700	445	240	$6,144 \cdot 10^{-3}$	9	$6,144 \cdot 10^{-4}$
110 y 111	445	436	824	$1,916 \cdot 10^{-4}$	2	$6,386 \cdot 10^{-5}$
106 y 107	436	420	16	$1,742 \cdot 10^{-2}$	3	$4,355 \cdot 10^{-3}$
115 y 125	420	370	35	$2,726 \cdot 10^{-2}$	6	$3,895 \cdot 10^{-3}$
32 y 50	1970	1970	100	$3,382 \cdot 10^{-4}$	6	$4,83 \cdot 10^{-5}$
63 y 108	1200	1200	100	$6,547 \cdot 10^{-3}$	11	$5,456 \cdot 10^{-4}$
68 y 109	800	800	100	$1,400 \cdot 10^{-2}$	10	$1,273 \cdot 10^{-3}$
45 y 104	445	445	100	$2,043 \cdot 10^{-3}$	3	$2,554 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.55. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 4 de la estructura 1.

Puntos	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga longitudinal (N)	Carga horizontal (N)	Carga vertical (N)
61 y 97	1970	(+/-) 100	330,2	$3,2942 \cdot 10^{-1}$	1,1216	$1,0833 \cdot 10^{-1}$
69 y 105	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$6,6296 \cdot 10^{-2}$
23 y 43	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,1018 \cdot 10^{-2}$
41 y 42	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$4,4504 \cdot 10^{-2}$
67 y 103	1200	(+/-) 100	240	$-2,1145 \cdot 10^{-1}$	$6,2186 \cdot 10^{-1}$	$3,1326 \cdot 10^{-1}$
135 y 136	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,0852 \cdot 10^{-1}$
39 y 40	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,6369 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,5674 \cdot 10^{-1}$
31 y 33	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,3311 \cdot 10^{-3}$
30 y 34	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,2117 \cdot 10^{-2}$
73 y 109	370	(+/-) 170	690	$-1,1797 \cdot 10^{-1}$	$5,9344 \cdot 10^{-1}$	$5,4122 \cdot 10^{-1}$
18	1970	0	250	0	0	$-3,9251 \cdot 10^{-2}$
17	1200	0	240	0	0	$-9,6584 \cdot 10^{-2}$
63	800	0	330,2	0	0	$1,1887 \cdot 10^{-1}$
-	445	0	275	0	0	$5,4299 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.56. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 4 de la estructura 1.

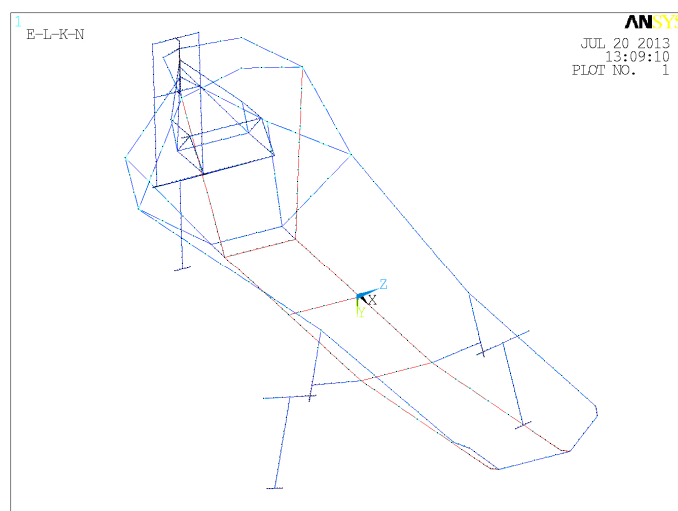


Figura 9.60. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 4 de la estructura 1.

9.3.6.2. Cargas específicas del ensayo 4 para la estructura 2:

En la Tabla 9.57, se recogen las cargas debidas al peso de la carrocería junto a los puntos de aplicación de las mismas y en la Figura 9.61, se representan dichas cargas sobre la estructura 2.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	200	480
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-200	480
Soporte exterior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	310	480
Soporte exterior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-310	480
Soporte interior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	217	228
Soporte interior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-217	228
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	648

Tabla 9.57. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 4 de la estructura 2.

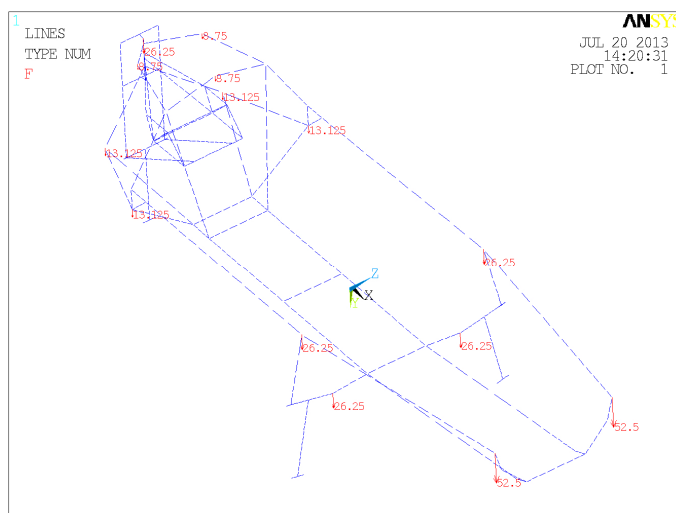


Figura 9.61. Representación de los puntos de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.

Las cargas en las barras debidas al peso del asiento, obtenidas en el anexo VII, se recogen en la Tabla 9.58, para las cargas transmitidas a las barras, y en la Tabla 9.59, para las cargas aplicadas sobre las uniones de las barras de la estructura. En la Figura 9.62 se han señalado en color rojo las barras sobre las que se aplican las cargas debidas al peso del asiento.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
29 y 33	1970	1920	55	$9,018 \cdot 10^{-4}$	2	$3,006 \cdot 10^{-4}$
30 y 32	1920	1835	80	$1,961 \cdot 10^{-3}$	3	$4,903 \cdot 10^{-4}$
135 y 136	1835	1515	320	$6,315 \cdot 10^{-3}$	4	$1,263 \cdot 10^{-3}$
129 y 131	1515	1200	315	$6,873 \cdot 10^{-3}$	4	$1,375 \cdot 10^{-3}$
88 y 90	1200	800	385	$8,504 \cdot 10^{-3}$	11	$7,087 \cdot 10^{-4}$
133 y 134	800	700	115	$2,544 \cdot 10^{-3}$	2	$8,480 \cdot 10^{-4}$
127 y 128	700	445	240	$6,152 \cdot 10^{-3}$	9	$6,152 \cdot 10^{-4}$
28 y 32	445	436	824	$1,993 \cdot 10^{-4}$	2	$6,645 \cdot 10^{-5}$
113 y 114	436	420	16	$1,830 \cdot 10^{-2}$	3	$4,574 \cdot 10^{-3}$
76 y 110	420	370	35	$2,766 \cdot 10^{-2}$	6	$3,951 \cdot 10^{-3}$
45 y 73	1970	1970	100	$3,072 \cdot 10^{-4}$	6	$4,389 \cdot 10^{-5}$
55 y 89	1200	1200	100	$4,787 \cdot 10^{-3}$	2	$1,596 \cdot 10^{-3}$
34 y 111	800	800	100	$1,301 \cdot 10^{-2}$	2	$4,338 \cdot 10^{-3}$
109 y 115	445	445	100	$2,598 \cdot 10^{-3}$	3	$3,248 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.58. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 4 de la estructura 2.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
57 y 65	1970	(+/-) 100	330,2	$6,022 \cdot 10^{-1}$	1,115	$2,090 \cdot 10^{-1}$
55 y 63	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$9,163 \cdot 10^{-2}$
50 y 56	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,258 \cdot 10^{-2}$
49 y 54	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$3,887 \cdot 10^{-2}$
53 y 61	1200	(+/-) 100	240	$-5,041 \cdot 10^{-1}$	1,033	$1,606 \cdot 10^{-1}$
67 y 68	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,112 \cdot 10^{-1}$
44 y 47	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,461 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,596 \cdot 10^{-1}$
27 y 28	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,640 \cdot 10^{-3}$
30 y 31	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,267 \cdot 10^{-2}$
71 y 75	370	(+/-) 170	690	$-9,817 \cdot 10^{-2}$	$5,453 \cdot 10^{-1}$	$4,218 \cdot 10^{-1}$
89	1970	0	250	0	0	0
17	1200	0	240	0	0	$-1,007 \cdot 10^{-1}$
18	800	0	330,2	0	0	$1,119 \cdot 10^{-1}$
19	445	0	275	0	0	$1,084 \cdot 10^{-2}$

Tabla 9.59. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 4 de la estructura 2.



Figura 9.62. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 4 de la estructura 2.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
59	1970	1920	55	$1,050 \cdot 10^{-2}$	2	$3,500 \cdot 10^{-3}$
124	1920	1835	80	$9,591 \cdot 10^{-3}$	3	$2,398 \cdot 10^{-3}$
125	1835	1515	320	$1,303 \cdot 10^{-2}$	4	$2,607 \cdot 10^{-3}$
123	1515	1200	315	$9,111 \cdot 10^{-3}$	4	$1,822 \cdot 10^{-3}$
57	1200	800	385	$4,502 \cdot 10^{-3}$	11	$3,752 \cdot 10^{-4}$
113 y 114	800	700	115	$2,346 \cdot 10^{-3}$	2	$7,821 \cdot 10^{-4}$
31 y 58	700	445	240	$9,653 \cdot 10^{-3}$	8	$1,073 \cdot 10^{-3}$
61 y 111	445	420	824	$5,034 \cdot 10^{-4}$	3	$1,258 \cdot 10^{-4}$
115 y 116	420	370	16	$6,917 \cdot 10^{-2}$	5	$1,153 \cdot 10^{-2}$
33 y 48	1970	1970	100	$5,374 \cdot 10^{-4}$	3	$1,344 \cdot 10^{-4}$
51 y 52	1200	1200	100	0	2	0
66 y 67	800	800	100	$1,089 \cdot 10^{-2}$	5	$1,815 \cdot 10^{-3}$
108 y 109	445	445	100	$4,460 \cdot 10^{-3}$	2	$7,434 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.61. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 4 de la estructura 3.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
63 y 93	1970	(+/-) 100	330,2	1,6190	$2,269 \cdot 10^{-1}$	$8,228 \cdot 10^{-1}$
65	1970	0	310,2	0	0	$-1,972 \cdot 10^{-2}$
115	1920	0	300,2	0	0	$3,519 \cdot 10^{-2}$
36	1835	0	290,7	0	0	$-6,876 \cdot 10^{-1}$
35	1515	0	255	0	0	$1,817 \cdot 10^{-2}$
99 y 103	1200	(+/-) 100	230	-1,517	2,986	$7,135 \cdot 10^{-1}$
101	1200	0	220	0	0	$1,174 \cdot 10^{-1}$
129 y 133	800	(+/-) 180	270,2	0	0	$6,066 \cdot 10^{-1}$
114	800	0	230	0	0	$-9,370 \cdot 10^{-3}$
17 y 18	700	(+/-) 23,4	237	0	0	$4,756 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 83	255	0	0	$-2,739 \cdot 10^{-2}$
23	445	0	255	0	0	$5,366 \cdot 10^{-2}$
19 y 20	420	(+/-) 112	400,2	0	0	$1,340 \cdot 10^{-1}$
51 y 71	370	(+/-) 170	690	$-1,022 \cdot 10^{-1}$	$4,865 \cdot 10^{-1}$	$5,167 \cdot 10^{-1}$

Tabla 9.62. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 4 de la estructura 3.



Figura 9.64. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 4 de la estructura 3.

9.3.7. Ensayo 4b:

El presente ensayo es último de los correspondientes a la recreación de la prueba de resistencia que debe superar el arco de seguridad del prototipo, definida en el apartado 8.4.1. del presente proyecto y recogida en la normativa de la competición.

Las restricciones que este ensayo introduce al modelo son: en el punto de contacto rueda trasera con la calzada se restringen los desplazamientos en los tres ejes, en el punto de contacto de la rueda delantera izquierda se restringen los desplazamientos lateral y vertical, y en el punto de contacto de la rueda delantera derecha se restringe el desplazamiento vertical. En la Figura 9.65, se muestran dichas restricciones sobre el modelo de la estructura 1.0 al ser idénticas para las tres estructuras.

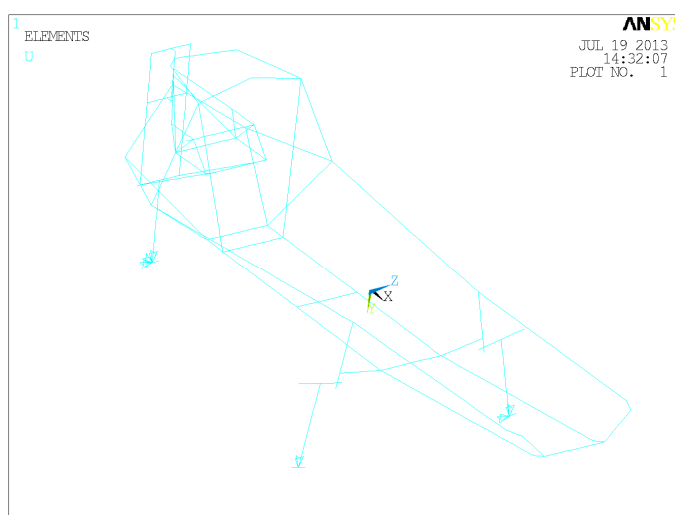


Figura 9.65. Restricciones al desplazamiento del ensayo 4b.

Las cargas aplicadas sobre el modelo son: la carga de 700N recogida en la normativa, las debidas al peso del motor, del embrague, del extintor, de la carrocería y del asiento. La carga de 700N se aplica en la dirección vertical negativa como se puede apreciar en la Figura 9.66. Las cargas debidas al peso del motor, del embrague y del extintor, al ser comunes a las tres estructuras se recogen junto a sus puntos de aplicación en la Tabla 9.63. Y en la Figura 9.67 se puede observar la localización de dichas cargas en la estructura 1. Debido a que las cargas del asiento y de la carrocería dependen de la estructura analizada se procede en los siguientes subapartados a especificar los valores de dichas cargas para las tres estructuras.

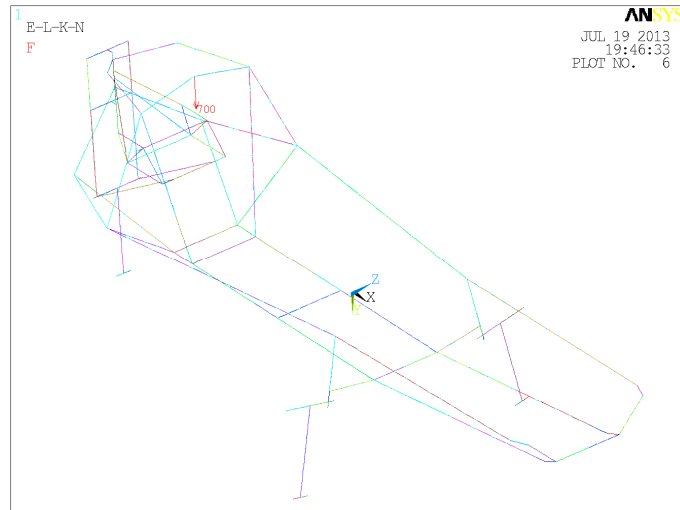


Figura 9.66. Representación de la carga de 700N del ensayo 4b.

Elemento	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Motor en orden de marcha	33	49,5	269	-122	520
Transmisión	12	18	269	60,6	520
Extintor	21,5	32,25	370	0	260

Tabla 9.63. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 4b.

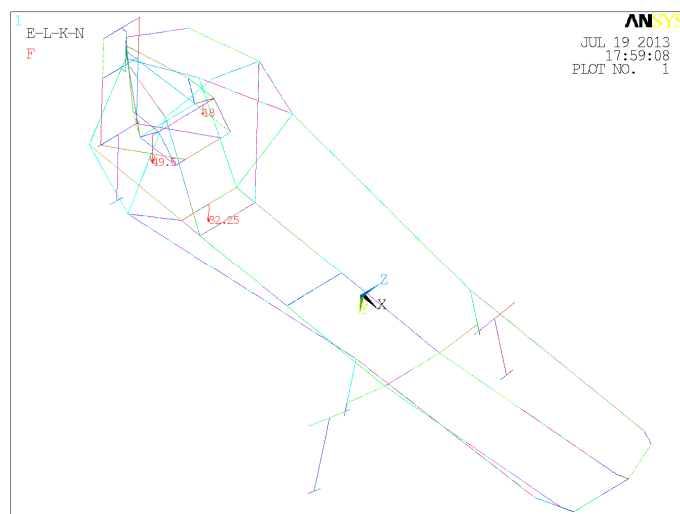


Figura 9.67. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.

9.3.7.1. Cargas específicas del ensayo 4b para la estructura 1:

En la Tabla 9.64 se detallan las cargas debidas al peso de la carrocería junto a las coordenadas de los puntos de aplicación de dichas cargas. Y en la Figura 9.68 se representa dicha distribución de cargas sobre la estructura 1.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	180	410,2
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	1/6	35	52,5	1200	238	262
Soporte derecho eje	1/6	35	52,5	1200	-238	262
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.64. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 4b de la estructura 1.

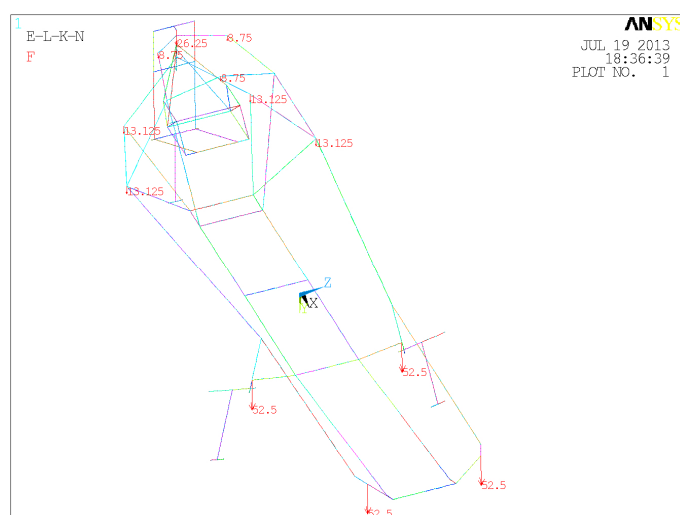


Figura 9.68. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.

Las cargas en las barras debidas al asiento, obtenidas en el anexo VII, se recogen en la Tabla 9.65.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión a (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
36 y 54	1970	1920	55	$8,914 \cdot 10^{-4}$	2	$2,971 \cdot 10^{-4}$
112 y 120	1920	1835	80	$1,973 \cdot 10^{-3}$	3	$4,932 \cdot 10^{-4}$
118 y 124	1835	1515	320	$4,720 \cdot 10^{-3}$	6	$6,744 \cdot 10^{-4}$
119 y 121	1515	1200	315	$5,242 \cdot 10^{-3}$	6	$7,488 \cdot 10^{-4}$
90 y 94	1200	800	385	$9,038 \cdot 10^{-3}$	12	$6,952 \cdot 10^{-4}$
122 y 123	800	700	115	$2,561 \cdot 10^{-3}$	2	$8,538 \cdot 10^{-4}$
113-126 y 114-127	700	445	240	$6,144 \cdot 10^{-3}$	9	$6,144 \cdot 10^{-4}$
110 y 111	445	436	824	$1,916 \cdot 10^{-4}$	2	$6,386 \cdot 10^{-5}$
106 y 107	436	420	16	$1,742 \cdot 10^{-2}$	3	$4,355 \cdot 10^{-3}$
115 y 125	420	370	35	$2,726 \cdot 10^{-2}$	6	$3,895 \cdot 10^{-3}$
32 y 50	1970	1970	100	$3,382 \cdot 10^{-4}$	6	$4,83 \cdot 10^{-5}$
63 y 108	1200	1200	100	$6,547 \cdot 10^{-3}$	11	$5,456 \cdot 10^{-4}$
68 y 109	800	800	100	$1,400 \cdot 10^{-2}$	10	$1,273 \cdot 10^{-3}$
45 y 104	445	445	100	$2,043 \cdot 10^{-3}$	3	$2,554 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.65. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 4b de la estructura 1.

En la Tabla 9.66 se recogen las cargas transmitidas a las uniones debidas al peso del asiento.

Puntos	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga longitudinal (N)	Carga horizontal (N)	Carga vertical (N)
61 y 97	1970	(+/-) 100	330,2	$3,2942 \cdot 10^1$	1,1216	$1,0833 \cdot 10^1$
69 y 105	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$6,6296 \cdot 10^2$
23 y 43	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,1018 \cdot 10^2$
41 y 42	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$4,4504 \cdot 10^2$
67 y 103	1200	(+/-) 100	240	$-2,1145 \cdot 10^1$	$6,2186 \cdot 10^1$	$3,1326 \cdot 10^1$
135 y 136	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,0852 \cdot 10^1$
39 y 40	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,6369 \cdot 10^2$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,5674 \cdot 10^1$
31 y 33	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,3311 \cdot 10^3$
30 y 34	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,2117 \cdot 10^2$
73 y 109	370	(+/-) 170	690	$-1,1797 \cdot 10^1$	$5,9344 \cdot 10^1$	$5,4122 \cdot 10^1$
18	1970	0	250	0	0	$-3,9251 \cdot 10^2$
17	1200	0	240	0	0	$-9,6584 \cdot 10^2$
63	800	0	330,2	0	0	$1,1887 \cdot 10^1$
-	445	0	275	0	0	$5,4299 \cdot 10^3$

Tabla 9.66. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 4b de la estructura 1.

En la Figura 9.69, se resaltan en rojo las barras sobre las que se aplican las cargas debidas al peso del asiento y que se recogen en las tablas anteriores.

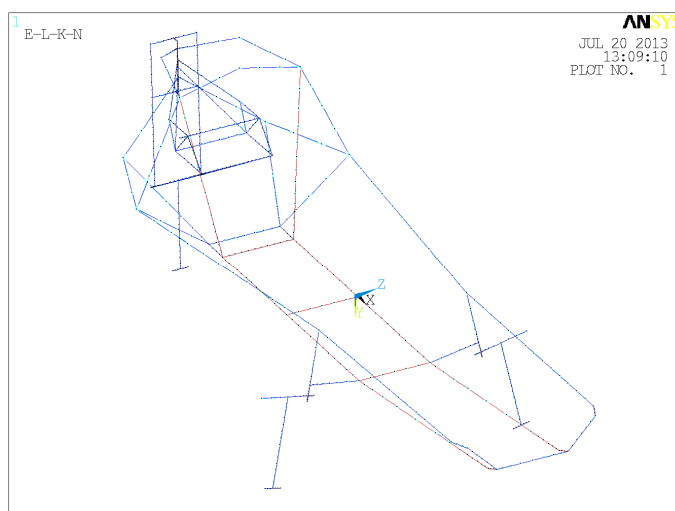


Figura 9.69. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 4b de la estructura 1.

9.3.7.2. Cargas específicas del ensayo 4b para la estructura 2:

Las cargas debidas al peso de la carrocería junto a los puntos de aplicación de las mismas se resumen en la Tabla 9.67. Y en la Figura 9.70 se representan dichas cargas sobre la estructura 2.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	200	480
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-200	480
Soporte exterior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	310	480
Soporte exterior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-310	480
Soporte interior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	217	228
Soporte interior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-217	228
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	648

Tabla 9.67. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 4b de la estructura 2.

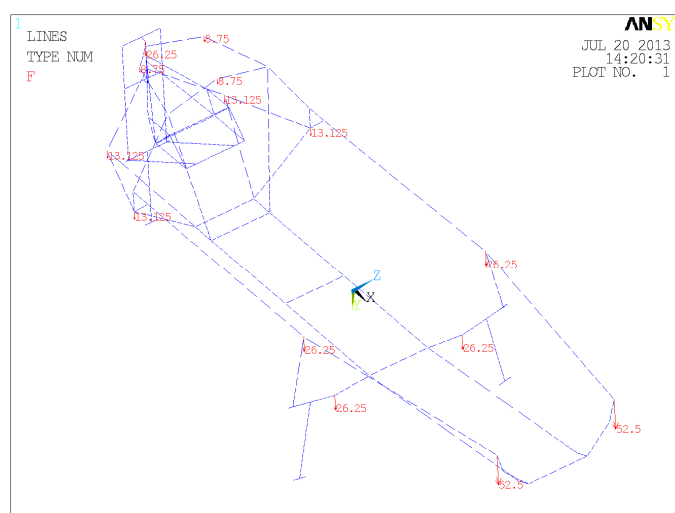


Figura 9.70. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.

Las cargas debidas al peso del asiento, obtenidas del procesado de los resultados de la realización de un análisis por elementos finitos al asiento simulando los puntos de contacto del asiento y la estructura según el procedimiento detallado en el anexo VII, se aplican en las barras marcadas en color rojo en la Figura 9.71. Estas cargas son de dos tipos, cargas distribuidas sobre las barras que se recogen junto a las barras correspondientes en la Tabla 9.68 y cargas puntuales aplicadas en las uniones que se recogen junto a las coordenadas de sus puntos de aplicación en la Tabla 9.69.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
29 y 33	1970	1920	55	$9,018 \cdot 10^{-4}$	2	$3,006 \cdot 10^{-4}$
30 y 32	1920	1835	80	$1,961 \cdot 10^{-3}$	3	$4,903 \cdot 10^{-4}$
135 y 136	1835	1515	320	$6,315 \cdot 10^{-3}$	4	$1,263 \cdot 10^{-3}$
129 y 131	1515	1200	315	$6,873 \cdot 10^{-3}$	4	$1,375 \cdot 10^{-3}$
88 y 90	1200	800	385	$8,504 \cdot 10^{-3}$	11	$7,087 \cdot 10^{-4}$
133 y 134	800	700	115	$2,544 \cdot 10^{-3}$	2	$8,480 \cdot 10^{-4}$
127 y 128	700	445	240	$6,152 \cdot 10^{-3}$	9	$6,152 \cdot 10^{-4}$
28 y 32	445	436	824	$1,993 \cdot 10^{-4}$	2	$6,645 \cdot 10^{-5}$
113 y 114	436	420	16	$1,830 \cdot 10^{-2}$	3	$4,574 \cdot 10^{-3}$
76 y 110	420	370	35	$2,766 \cdot 10^{-2}$	6	$3,951 \cdot 10^{-3}$
45 y 73	1970	1970	100	$3,072 \cdot 10^{-4}$	6	$4,389 \cdot 10^{-5}$
55 y 89	1200	1200	100	$4,787 \cdot 10^{-3}$	2	$1,596 \cdot 10^{-3}$
34 y 111	800	800	100	$1,301 \cdot 10^{-2}$	2	$4,338 \cdot 10^{-3}$
109 y 115	445	445	100	$2,598 \cdot 10^{-3}$	3	$3,248 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.68. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 4b de la estructura 2.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
57 y 65	1970	(+/-) 100	330,2	$6,022 \cdot 10^{-1}$	1,115	$2,090 \cdot 10^{-1}$
55 y 63	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$9,163 \cdot 10^{-2}$
50 y 56	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,258 \cdot 10^{-2}$
49 y 54	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$3,887 \cdot 10^{-2}$
53 y 61	1200	(+/-) 100	240	$-5,041 \cdot 10^{-1}$	1,033	$1,606 \cdot 10^{-1}$
67 y 68	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,112 \cdot 10^{-1}$
44 y 47	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,461 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,596 \cdot 10^{-1}$
27 y 28	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,640 \cdot 10^{-3}$
30 y 31	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,267 \cdot 10^{-2}$
71 y 75	370	(+/-) 170	690	$-9,817 \cdot 10^{-2}$	$5,453 \cdot 10^{-1}$	$4,218 \cdot 10^{-1}$
89	1970	0	250	0	0	0
17	1200	0	240	0	0	$-1,007 \cdot 10^{-1}$
18	800	0	330,2	0	0	$1,119 \cdot 10^{-1}$
19	445	0	275	0	0	$1,084 \cdot 10^{-2}$

Tabla 9.69. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 4b de la estructura 2.

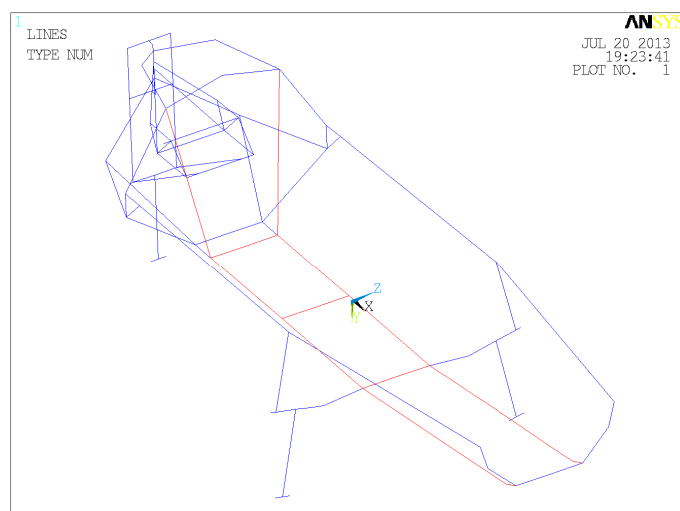


Figura 9.71. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 4b de la estructura 2.

9.3.7.3. Cargas específicas del ensayo 4b para la estructura 3:

En la Tabla 9.70 se resumen las cargas debidas al peso de la carrocería junto con sus puntos de aplicación. Y se representan, sobre la estructura 3, en la Figura 9.72.

	Fración de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	5/36	29,17	43,75	1970	180	410,2
Soporte delantero central	1/18	11,67	17,5	1970	0	310,2
Soporte delantero derecho	5/36	29,17	43,75	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	5/36	29,17	43,75	1200	238	262
Soporte central eje	1/36	5,84	8,75	1200	0	220
Soporte derecho eje	5/36	29,17	43,75	1200	-238	262
Soporte central travesaño	1/36	5,84	8,75	800	0	230
Soporte arco seguridad izquierdo	1/30	7	10,5	370	300	410,2
Soporte arco seguridad inferior	1/30	7	10,5	370	0	240
Soporte arco seguridad derecho	1/30	7	10,5	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/30	7	10,5	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/30	7	10,5	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.70. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 4b de la estructura 3.

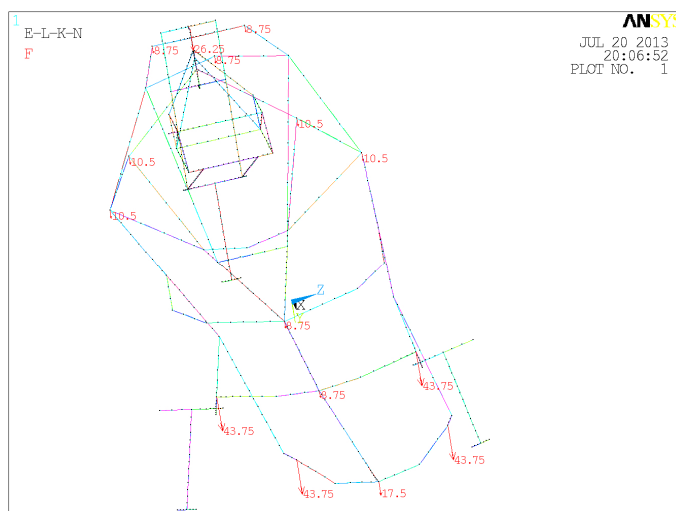


Figura 9.72. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.

La distribución de cargas en las barras de la estructura a consecuencia del peso del asiento, cuyos datos se han obtenido en el anexo VII se recoge en la Tabla 9.71. En la Tabla 9.72 se recogen las cargas en las uniones debidas al peso del asiento.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
59	1970	1920	55	$1,050 \cdot 10^{-2}$	2	$3,500 \cdot 10^{-3}$
124	1920	1835	80	$9,591 \cdot 10^{-3}$	3	$2,398 \cdot 10^{-3}$
125	1835	1515	320	$1,303 \cdot 10^{-2}$	4	$2,607 \cdot 10^{-3}$
123	1515	1200	315	$9,111 \cdot 10^{-3}$	4	$1,822 \cdot 10^{-3}$
57	1200	800	385	$4,502 \cdot 10^{-3}$	11	$3,752 \cdot 10^{-4}$
113 y 114	800	700	115	$2,346 \cdot 10^{-3}$	2	$7,821 \cdot 10^{-4}$
31 y 58	700	445	240	$9,653 \cdot 10^{-3}$	8	$1,073 \cdot 10^{-3}$
61 y 111	445	420	824	$5,034 \cdot 10^{-4}$	3	$1,258 \cdot 10^{-4}$
115 y 116	420	370	16	$6,917 \cdot 10^{-2}$	5	$1,153 \cdot 10^{-2}$
33 y 48	1970	1970	100	$5,374 \cdot 10^{-4}$	3	$1,344 \cdot 10^{-4}$
51 y 52	1200	1200	100	0	2	0
66 y 67	800	800	100	$1,089 \cdot 10^{-2}$	5	$1,815 \cdot 10^{-3}$
108 y 109	445	445	100	$4,460 \cdot 10^{-3}$	2	$7,434 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.71. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 4b de la estructura 3.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
63 y 93	1970	(+/-) 100	330,2	1,6190	$2,269 \cdot 10^{-1}$	$8,228 \cdot 10^{-1}$
65	1970	0	310,2	0	0	$-1,972 \cdot 10^{-2}$
115	1920	0	300,2	0	0	$3,519 \cdot 10^{-2}$
36	1835	0	290,7	0	0	$-6,876 \cdot 10^{-1}$
35	1515	0	255	0	0	$1,817 \cdot 10^{-2}$
99 y 103	1200	(+/-) 100	230	-1,517	2,986	$7,135 \cdot 10^{-1}$
101	1200	0	220	0	0	$1,174 \cdot 10^{-1}$
129 y 133	800	(+/-) 180	270,2	0	0	$6,066 \cdot 10^{-1}$
114	800	0	230	0	0	$-9,370 \cdot 10^{-3}$
17 y 18	700	(+/-) 23,4	237	0	0	$4,756 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 83	255	0	0	$-2,739 \cdot 10^{-2}$
23	445	0	255	0	0	$5,366 \cdot 10^{-2}$
19 y 20	420	(+/-) 112	400,2	0	0	$1,340 \cdot 10^{-1}$
51 y 71	370	(+/-) 170	690	$-1,022 \cdot 10^{-1}$	$4,865 \cdot 10^{-1}$	$5,167 \cdot 10^{-1}$

Tabla 9.72. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 4b de la estructura 3.

Las barras sobre las que se aplican estas cargas se han marcado de color rojo en la Figura 9.73.

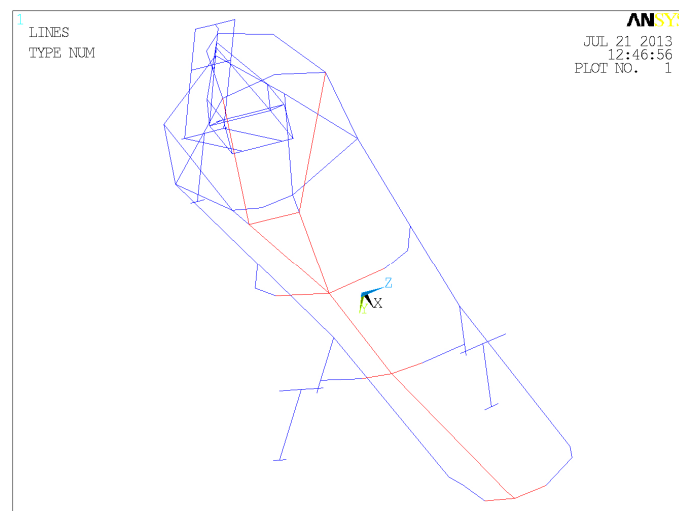


Figura 9.73. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 4b de la estructura 3.

9.3.8. Ensayo 5:

Este ensayo recrea el ensayo de resistencia de los cinturones de seguridad, definido en el apartado 8.4.2. del presente proyecto y recogido en la normativa de la competición, consistente en colgar el prototipo, con el piloto dentro, por los cinturones de seguridad.

Las restricciones que se aplican en el presente ensayo son el bloqueo de todos los grados de libertad de los lugares donde se anclan los cinco puntos del cinturón de seguridad. En los subapartados, se indicarán las coordenadas de dichos puntos al ser diferentes para cada estructura.

Las cargas que se aplican son las debidas a los pesos del motor, del embrague, del extintor, de la carrocería, del asiento y del piloto. Recogiéndose en la Tabla 9.73, las cargas debidas a los pesos del motor, del embrague y del extintor al ser independientes de la estructura a analizar, y representándose en la Figura 9.74 la aplicación de dichas cargas en la estructura 1. Siendo el resto de cargas dependientes de la estructura analizada, se detallan junto a las restricciones en los subapartados siguientes.

Elemento	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Motor en orden de marcha	33	49,5	269	-122	520
Transmisión	12	18	269	60,6	520
Extintor	21,5	32,25	370	0	260

Tabla 9.73. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 5.

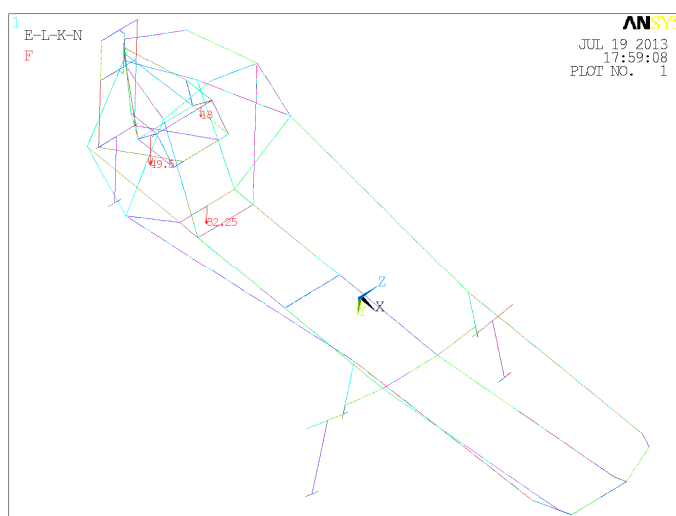


Figura 9.74. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.

9.3.8.1. Restricciones y cargas específicas del ensayo 5 para la estructura 1:

Las restricciones del ensayo 5 para la estructura 1 consisten en el bloqueo de todos los grados de libertad de los cinco anclajes del cinturón de seguridad. Las coordenadas de dichos anclajes se recogen en la Tabla 9.74 y se indican, sobre la estructura 1, en la Figura 9.75.

Anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)
Central	1200	0	240
Lateral izquierdo	800	100	250
Lateral derecho	800	-100	250
Superior derecho	370	100	260
Superior izquierdo	370	-100	260

Tabla 9.74. Coordenadas de los anclajes del cinturón de seguridad para el ensayo 5 de la estructura 1.

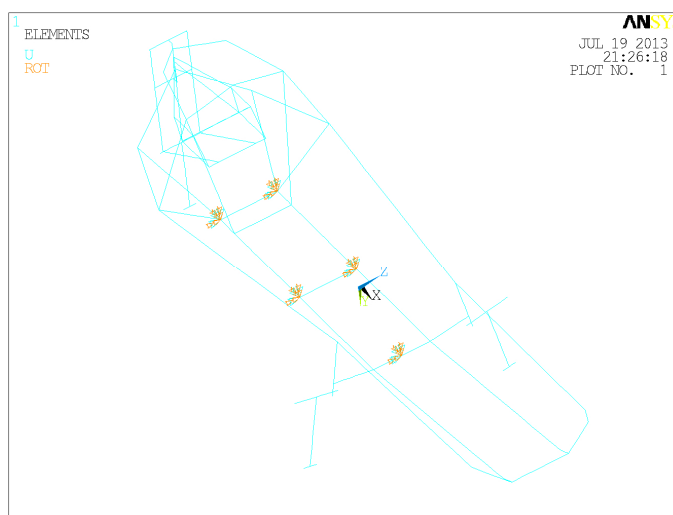


Figura 9.75. Restricciones al desplazamiento del ensayo 5 de la estructura 1.

Las cargas debidas al peso propio de la carrocería se recogen en la Tabla 9.75 y se representan, sobre la estructura 1, en la Figura 9.76.

Las cargas debidas al peso del piloto y del asiento, obtenidas según se indica en el anexo VII procesando los resultados de un análisis de elementos finitos del asiento sobre el que se han aplicado los esfuerzos correspondientes al peso del piloto en la posición de conducción y las coacciones que la estructura le impone al asiento cuando está montado sobre ella, se pueden clasificar en cargas distribuidas y en cargas puntuales. Las cargas distribuidas se recogen en la Tabla 9.76 junto con las barras sobre las que se aplican y las cargas puntuales se recogen en la Tabla 9.77 junto con las coordenadas de sus puntos de aplicación.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	180	410,2
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	1/6	35	52,5	1200	238	262
Soporte derecho eje	1/6	35	52,5	1200	-238	262
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.75. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 5 de la estructura 1.

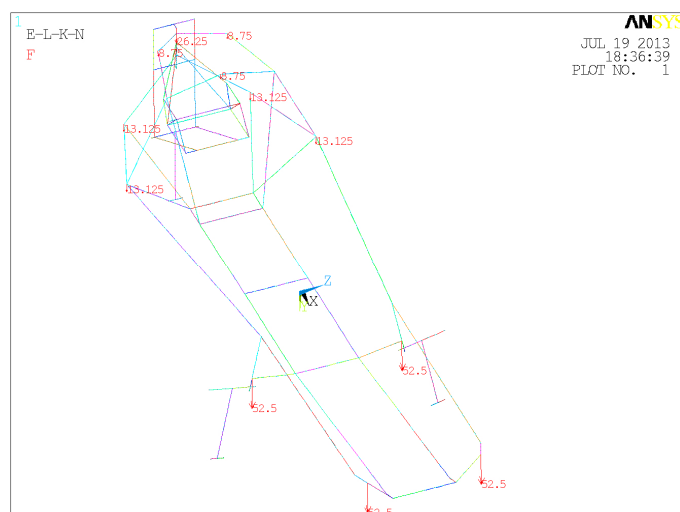


Figura 9.76. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
36 y 54	1970	1920	55	0	2	0
112 y 120	1920	1835	80	$2,044 \cdot 10^{-1}$	3	$5,110 \cdot 10^{-2}$
118 y 124	1835	1515	320	$1,225 \cdot 10^{-1}$	6	$1,751 \cdot 10^{-2}$
119 y 121	1515	1200	315	$2,675 \cdot 10^{-1}$	6	$3,822 \cdot 10^{-2}$
90 y 94	1200	800	385	$1,341 \cdot 10^{-1}$	12	$1,032 \cdot 10^{-2}$
122 y 123	800	700	115	$4,030 \cdot 10^{-2}$	2	$1,343 \cdot 10^{-2}$
113-126 y 114-127	700	445	240	$1,005 \cdot 10^{-1}$	9	$1,005 \cdot 10^{-2}$
110 y 111	445	436	824	$4,699 \cdot 10^{-3}$	2	$1,566 \cdot 10^{-3}$
106 y 107	436	420	16	$2,834 \cdot 10^{-1}$	3	$7,084 \cdot 10^{-2}$
115 y 125	420	370	35	$9,166 \cdot 10^{-2}$	6	$1,309 \cdot 10^{-2}$
32 y 50	1970	1970	100	0	3	0
63 y 108	1200	1200	100	$1,679 \cdot 10^{-1}$	2	$5,597 \cdot 10^{-2}$
68 y 109	800	800	100	$5,884 \cdot 10^{-1}$	2	$1,961 \cdot 10^{-1}$
45 y 104	445	445	100	$1,496 \cdot 10^{-2}$	7	$1,870 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.76. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 5 de la estructura 1.

Puntos	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga longitudinal (N)	Carga horizontal (N)	Carga vertical (N)
61 y 97	1970	(+/-) 100	330,2	6,179	14,98	2,256
69 y 105	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$9,412 \cdot 10^{-1}$
23 y 43	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$5,584 \cdot 10^{-1}$
41 y 42	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	1,118
67 y 103	1200	(+/-) 100	240	-13,26	22,21	8,686
135 y 136	800	(+/-) 100	250	0	0	21,91
39 y 40	700	(+/-) 100	252	0	0	2,341
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	3,931
31 y 33	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$-2,062 \cdot 10^{-2}$
30 y 34	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$6,271 \cdot 10^{-1}$
73 y 109	370	(+/-) 170	690	$-1,006 \cdot 10^{-2}$	1,866	$-1,368 \cdot 10^{-1}$
18	1970	0	250	0	0	$-5,553 \cdot 10^{-1}$
17	1200	0	240	0	0	-1,114
63	800	0	330,2	0	0	6,011
-	445	0	275	0	0	$-9,546 \cdot 10^{-2}$

Tabla 9.77. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 5 de la estructura 1.

Estas cargas se aplican sobre las barras marcadas en color rojo en la Figura 9.77.

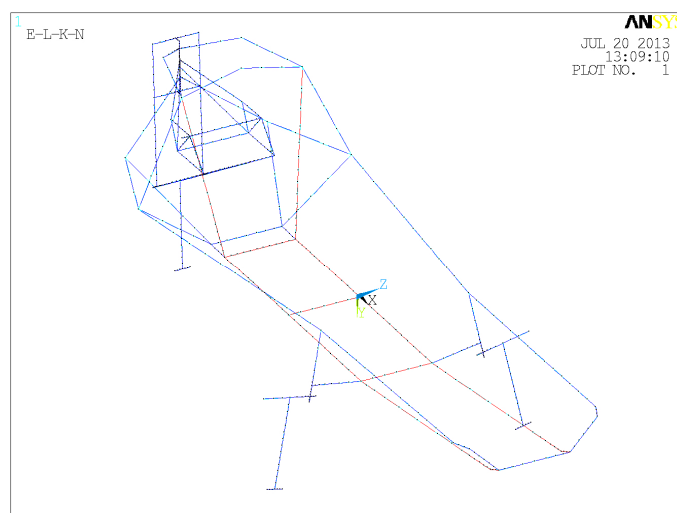


Figura 9.77. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 5 de la estructura 1.

9.3.8.2. Restricciones y cargas específicas del ensayo 5 para la estructura 2:

Para la estructura 2, las restricciones del ensayo 5 se aplican en los puntos cuyas coordenadas se recogen en la Tabla 9.78 y se indican sobre dicha estructura en la Figura 9.78.

Anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)
Central	1200	0	240
Lateral derecho	800	100	250
Lateral izquierdo	800	-100	250
Superior derecho	370	100	260
Superior izquierdo	370	-100	260

Tabla 9.78. Coordenadas de los anclajes del cinturón de seguridad para el ensayo 5 de la estructura 2.

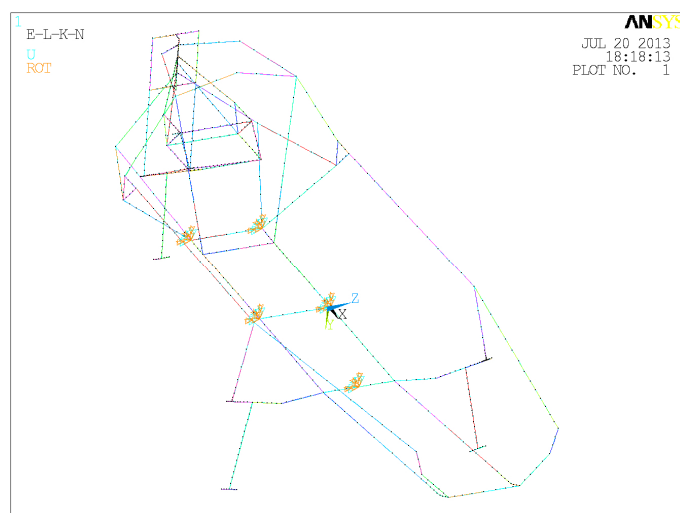


Figura 9.78. Restricciones al desplazamiento del ensayo 5 de la estructura 2.

En la Tabla 9.79 se recogen las cargas debidas al peso propio de la carrocería, representándose en la Figura 9.79.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
SopORTE delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	200	480
SopORTE delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-200	480
SopORTE exterior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	310	480
SopORTE exterior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-310	480
SopORTE interior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	217	228
SopORTE interior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-217	228
SopORTE arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
SopORTE arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
SopORTE trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
SopORTE trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
SopORTE arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
SopORTE trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
SopORTE trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
SopORTE trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	648

Tabla 9.79. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 5 de la estructura 2.

Las cargas debidas al peso del piloto y del asiento se han obtenido realizando un ensayo de elementos finitos del asiento con el piloto tumbado sobre él, considerando que las barras sobre las que se apoya el asiento impiden el desplazamiento vertical. Procesando estos datos, como se indica en el anexo VII, se han obtenido las cargas que hay que aplicar sobre las barras y que se recogen en la Tabla 9.80. Así como las cargas que hay que aplicar en las uniones y que se recogen en la Tabla 9.81. A fin de poder apreciar más claramente las barras sobre las que se aplican estas cargas para la estructura 2, se han marcado en color rojo en la Figura 9.80.

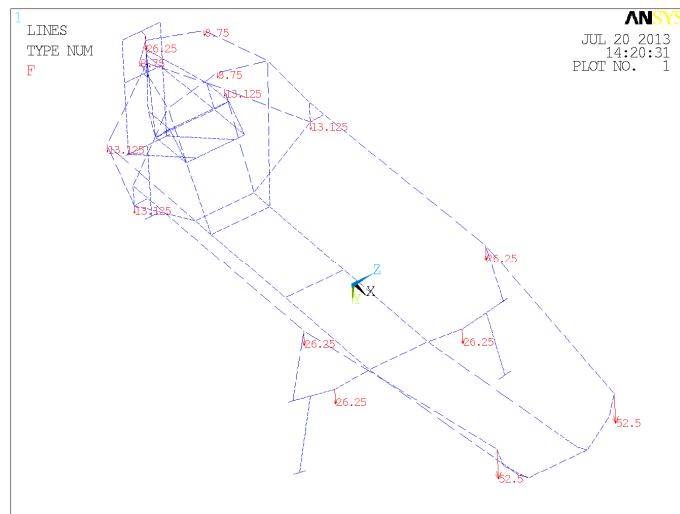


Figura 9.79. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
29 y 33	1970	1915	55	0	2	0
30 y 32	1915	1835	80	$2,064 \cdot 10^{-1}$	3	$5,160 \cdot 10^{-2}$
135 y 136	1835	1515	320	$1,359 \cdot 10^{-1}$	6	$2,718 \cdot 10^{-2}$
129 y 131	1515	1200	315	$2,585 \cdot 10^{-1}$	6	$5,170 \cdot 10^{-2}$
88 y 90	1200	800	385	$1,239 \cdot 10^{-1}$	12	$9,534 \cdot 10^{-3}$
133 y 134	800	700	115	$3,466 \cdot 10^{-2}$	2	$1,155 \cdot 10^{-2}$
127 y 128	700	445	240	$1,064 \cdot 10^{-1}$	9	$1,064 \cdot 10^{-2}$
28 y 32	445	436	824	$4,623 \cdot 10^{-3}$	2	$1,541 \cdot 10^{-3}$
113 y 114	436	420	16	$2,957 \cdot 10^{-1}$	3	$7,393 \cdot 10^{-2}$
76 y 110	420	370	35	$1,207 \cdot 10^{-1}$	6	$1,725 \cdot 10^{-2}$
45 y 73	1970	1970	100	0	7	0
55 y 89	1200	1200	100	$1,442 \cdot 10^{-1}$	2	$4,805 \cdot 10^{-2}$
34 y 111	800	800	100	$5,401 \cdot 10^{-1}$	2	$1,800 \cdot 10^{-1}$
109 y 115	445	445	100	$2,437 \cdot 10^{-2}$	7	$3,047 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.80. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 5 de la estructura 2.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
57 y 65	1970	(+/-) 100	330,2	11,55	14,87	4,238
55 y 63	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$3,602 \cdot 10^{-1}$
50 y 56	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$5,774 \cdot 10^{-1}$
49 y 54	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$8,599 \cdot 10^{-1}$
53 y 61	1200	(+/-) 100	240	-19,15	50,41	6,047
67 y 68	800	(+/-) 100	250	0	0	21,96
44 y 47	700	(+/-) 100	252	0	0	2,236
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	3,890
27 y 28	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$3,436 \cdot 10^{-2}$
30 y 31	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$4,339 \cdot 10^{-1}$
71 y 75	370	(+/-) 170	690	$6,379 \cdot 10^{-1}$	$1,695 \cdot 10^{-1}$	-4,045
89	1970	0	250	0	0	$-5,608 \cdot 10^{-1}$
17	1200	0	240	0	0	$-6,593 \cdot 10^{-1}$
18	800	0	330,2	0	0	5,597
19	445	0	275	0	0	$1,150 \cdot 10^{-1}$

Tabla 9.81. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 5 de la estructura 2.

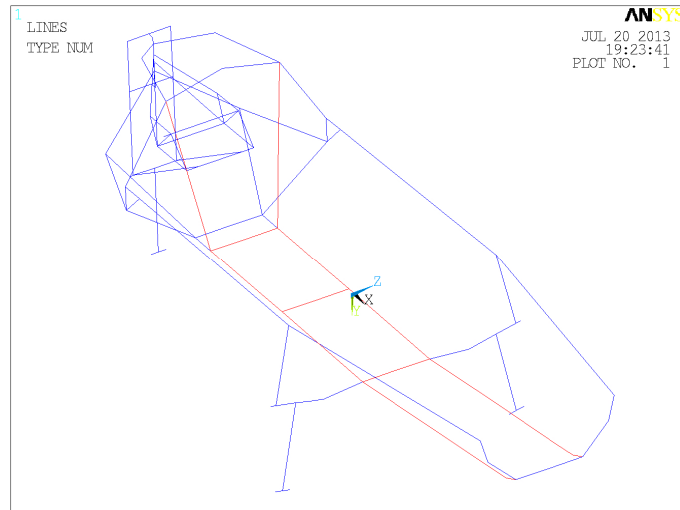


Figura 9.80. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 5 de la estructura 2.

9.3.8.3. Restricciones y cargas específicas del ensayo 5 para la estructura 3:

Por último, las restricciones del ensayo 5 para la estructura 3 como en el resto de estructuras se aplican sobre los anclajes del cinturón de seguridad, recogiendo las coordenadas de dichos anclajes en la Tabla 9.82. Mostrándose, sobre la estructura 3, en la Figura 9.81.

Anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)
Central	1200	0	220
Lateral derecho	800	180	270,2
Lateral izquierdo	800	-180	270,2
Superior derecho	370	100	260
Superior izquierdo	370	100	260

Tabla 9.82. Coordenadas de los anclajes del cinturón de seguridad para el ensayo 5 de la estructura 3.

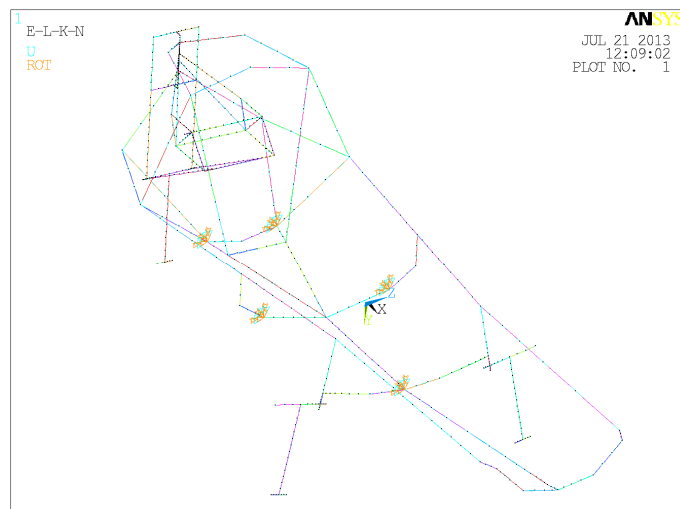


Figura 9.81. Restricciones al desplazamiento del ensayo 5 de la estructura 3.

Las cargas debidas al peso propio de la carrocería se recogen en la Tabla 9.83 y se representan con su dirección y sentido, sobre la estructura 3, en la Figura 9.82.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	5/36	29,17	43,75	1970	180	410,2
Soporte delantero central	1/18	11,67	17,5	1970	0	310,2
Soporte delantero derecho	5/36	29,17	43,75	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	5/36	29,17	43,75	1200	238	262
Soporte central eje	1/36	5,84	8,75	1200	0	220
Soporte derecho eje	5/36	29,17	43,75	1200	-238	262
Soporte central travesaño	1/36	5,84	8,75	800	0	230
Soporte arco seguridad izquierdo	1/30	7	10,5	370	300	410,2
Soporte arco seguridad inferior	1/30	7	10,5	370	0	240
Soporte arco seguridad derecho	1/30	7	10,5	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/30	7	10,5	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/30	7	10,5	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.83. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 5 de la estructura 3.

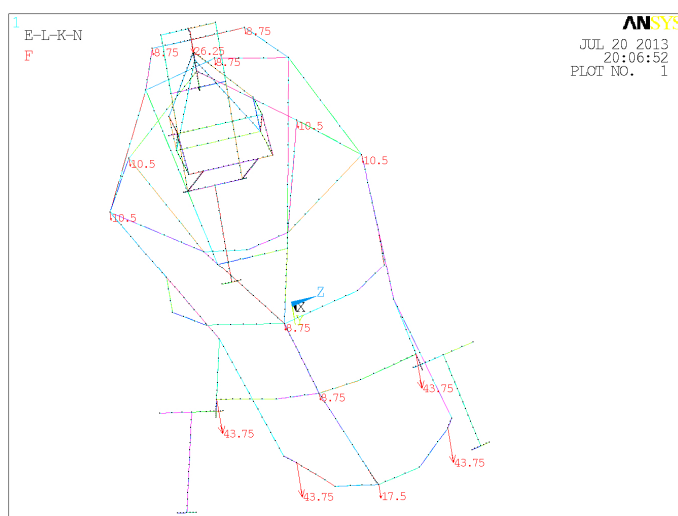


Figura 9.82. Representación de los puntos de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.

Las cargas debidas al asiento y al piloto, como se indica en el anexo VII, se corresponden con las reacciones de un ensayo de elementos finitos del asiento al que se le han aplicado las coacciones correspondientes para simular el comportamiento del asiento sobre la estructura y se aplican sobre las barras marcadas en color rojo en la Figura 9.83. En la Tabla 9.84, se recogen las cargas debidas al peso del piloto y del asiento que se transfieren a las barras de la estructura y en la Tabla 9.85 las cargas que se transmiten a las uniones.

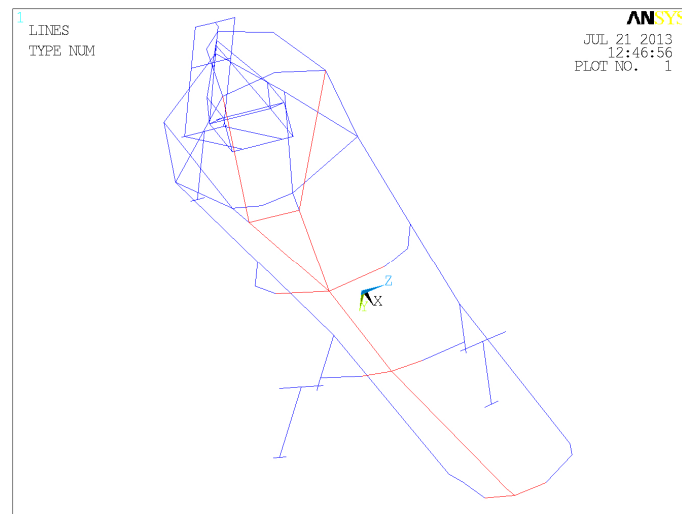


Figura 9.83. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 5 de la estructura 3.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
59	1970	1920	55	$1,050 \cdot 10^{-2}$	2	$1,429 \cdot 10^{-1}$
124	1920	1835	80	$9,591 \cdot 10^{-3}$	3	$9,907 \cdot 10^{-2}$
125	1835	1515	320	$1,303 \cdot 10^{-2}$	4	$8,104 \cdot 10^{-2}$
123	1515	1200	315	$9,111 \cdot 10^{-3}$	4	$8,593 \cdot 10^{-2}$
57	1200	800	385	$4,502 \cdot 10^{-3}$	11	$2,597 \cdot 10^{-3}$
113 y 114	800	700	115	$2,346 \cdot 10^{-3}$	2	$1,640 \cdot 10^{-3}$
31 y 58	700	445	240	$9,653 \cdot 10^{-3}$	8	$2,098 \cdot 10^{-2}$
61 y 111	445	420	824	$5,034 \cdot 10^{-4}$	3	$1,107 \cdot 10^{-3}$
115 y 116	420	370	16	$6,917 \cdot 10^{-2}$	5	$1,484 \cdot 10^{-2}$
33 y 48	1970	1970	100	$5,374 \cdot 10^{-4}$	3	$3,202 \cdot 10^{-3}$
51 y 52	1200	1200	100	0	2	0
66 y 67	800	800	100	$1,089 \cdot 10^{-2}$	5	$3,581 \cdot 10^{-2}$
108 y 109	445	445	100	$4,460 \cdot 10^{-3}$	2	$8,526 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.84. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 5 de la estructura 3.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
63 y 93	1970	(+/-) 100	330,2	66,24	10,60	31,46
65	1970	0	310,2	0	0	-1,943
115	1920	0	300,2	0	0	1,972
36	1835	0	290,7	0	0	-29,38
35	1515	0	255	0	0	1,010
99 y 103	1200	(+/-) 100	230	-70,93	7,424	-27,73
101	1200	0	220	0	0	6,276
129 y 133	800	(+/-) 180	270,2	0	0	30,57
114	800	0	230	0	0	-4,762
17 y 18	700	(+/-) 23,4	237	0	0	1,311
11 y 13	445	(+/-) 83	255	0	0	$8,441 \cdot 10^{-1}$
23	445	0	255	0	0	1,145
19 y 20	420	(+/-) 112	400,2	0	0	1,098
51 y 71	370	(+/-) 170	690	-1,730	5,048	10,43

Tabla 9.85. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 5 de la estructura 3.

9.3.9. Ensayo 6:

Este ensayo corresponde a la segunda de las pruebas de resistencia de los cinturones de seguridad definida en el apartado 8.4.2. del presente proyecto y recogida en la normativa de la competición. Las restricciones de este ensayo son el empotramiento de la barra frontal de la estructura intentando representar una colisión frontal que provoque los esfuerzos recogidos en la normativa como resistencia mínima del cinturón de seguridad y de sus anclajes. En la Figura 9.84 se representan dichas restricciones sobre la estructura 1, al ser dicha barra frontal común a las tres estructuras.

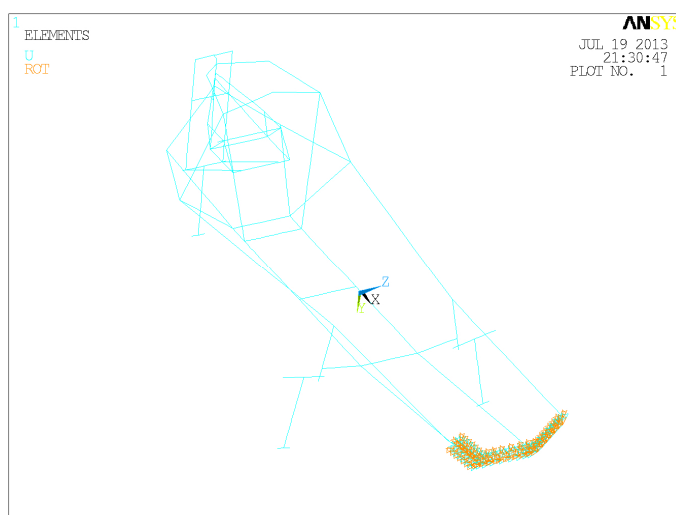


Figura 9.84. Restricciones al desplazamiento del ensayo 6.

Las cargas que se aplican en el presente ensayo son las debidas a los pesos del motor, del embrague, del extintor, de la carrocería y del asiento así como la carga que simula el desplazamiento del peso del piloto en una colisión frontal. Las cargas correspondientes a los pesos del motor, del embrague y del extintor al ser comunes a las tres estructuras, se recogen en la Tabla 9.86 junto a las coordenadas de los puntos de aplicación de sus cargas respectivas. En la Figura 9.85, se puede apreciar la disposición de dichas cargas sobre la estructura 1.

Elemento	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Motor en orden de marcha	33	49,5	269	-122	520
Transmisión	12	18	269	60,6	520
Extintor	21,5	32,25	370	0	260

Tabla 9.86. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 6.

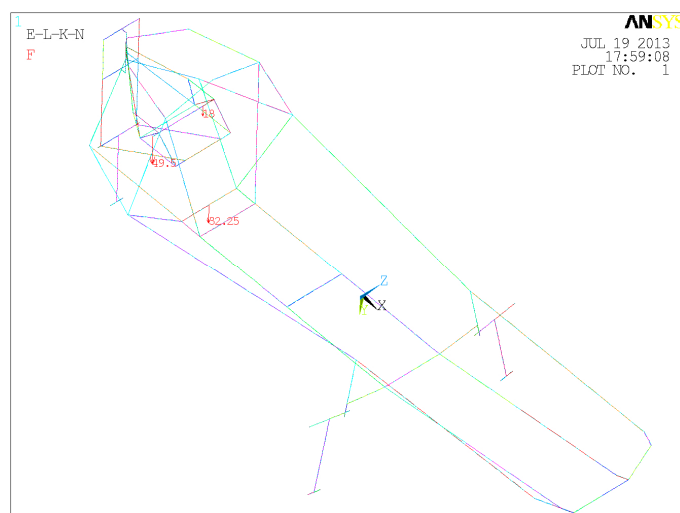


Figura 9.85. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.

El resto de cargas como dependen de la estructura analizada, se detallan en los siguientes subapartados.

9.3.9.1. Cargas específicas del ensayo 6 para la estructura 1:

La carga que simula el desplazamiento del peso del piloto en una colisión frontal se corresponde con una carga de 1,5 veces el peso del piloto dividida entre los cinco anclajes del cinturón de seguridad y aplicada en la dirección longitudinal positiva. En la Tabla 9.87 se recogen los valores aplicados a cada anclaje así como sus coordenadas. Y en la Figura 9.86, se pueden apreciar dichas cargas sobre la estructura 1.

Anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga (N)
Central	1200	0	240	163,2
Lateral derecho	800	100	250	163,2
Lateral izquierdo	800	-100	250	163,2
Superior derecho	370	100	260	163,2
Superior izquierdo	370	-100	260	163,2

Tabla 9.87. Cargas y punto de aplicación debidas a la normativa para el ensayo 6 de la estructura 1.

El peso de la carrocería se distribuye entre los puntos de anclaje a la estructura generando un conjunto de cargas que se recoge junto a sus puntos de aplicación en la Tabla 9.88. Representándose dichas cargas sobre la estructura 1 con sus direcciones y sentidos correspondientes en la Figura 9.87.

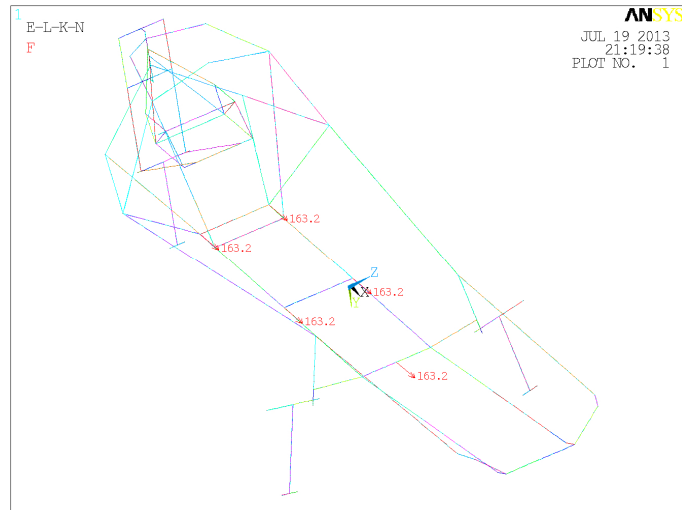


Figura 9.86. Representación de las cargas debidas a la normativa para el ensayo 6 de la estructura 1.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	180	410,2
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	1/6	35	52,5	1200	238	262
Soporte derecho eje	1/6	35	52,5	1200	-238	262
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.88. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 6 de la estructura 1.

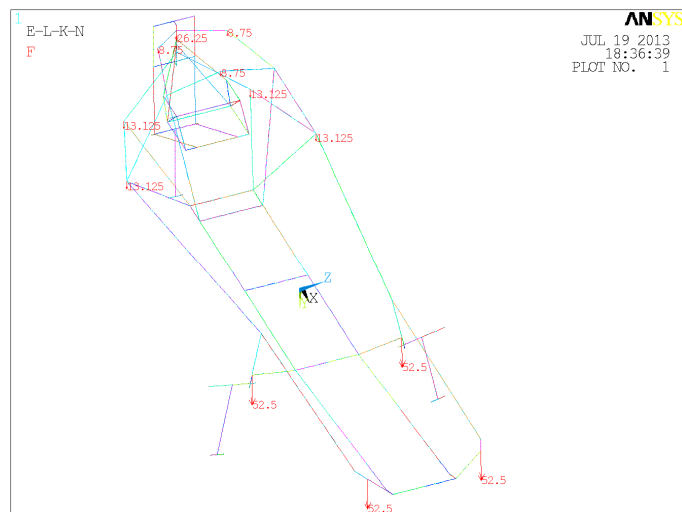


Figura 9.87. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.

Las cargas debidas a la distribución de pesos del asiento, obtenidas como se detalla en el anexo VII del procesado de los resultados de un ensayo de elementos finitos sobre el asiento con las restricciones apropiadas para que se represente adecuadamente el comportamiento del asiento sobre la estructura, se aplican sobre las barras marcadas en color rojo en la Figura 9.88. Dichas cargas se clasifican en cargas distribuidas sobre las barras consecuencia de las presiones que el asiento transfiere a las barras y cargas puntuales en las uniones debidas principalmente a las reacciones en los puntos de anclaje del asiento a la estructura, a los puntos de anclaje de los cinturones y a las reacciones que aparecen en las uniones en el ensayo. Las cargas distribuidas se recogen en la Tabla 9.89 junto con las barras sobre las que se aplican y las cargas puntuales en la Tabla 9.90 junto con las coordenadas de sus puntos de aplicación.

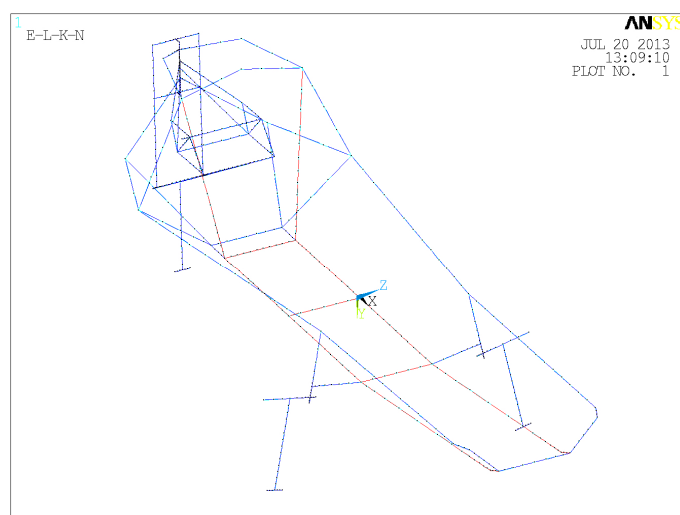


Figura 9.88. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 6 de la estructura 1.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
36 y 54	1970	1920	55	$8,914 \cdot 10^{-4}$	2	$2,971 \cdot 10^{-4}$
112 y 120	1920	1835	80	$1,973 \cdot 10^{-3}$	3	$4,932 \cdot 10^{-4}$
118 y 124	1835	1515	320	$4,720 \cdot 10^{-3}$	6	$6,744 \cdot 10^{-4}$
119 y 121	1515	1200	315	$5,242 \cdot 10^{-3}$	6	$7,488 \cdot 10^{-4}$
90 y 94	1200	800	385	$9,038 \cdot 10^{-3}$	12	$6,952 \cdot 10^{-4}$
122 y 123	800	700	115	$2,561 \cdot 10^{-3}$	2	$8,538 \cdot 10^{-4}$
113-126 y 114-127	700	445	240	$6,144 \cdot 10^{-3}$	9	$6,144 \cdot 10^{-4}$
110 y 111	445	436	824	$1,916 \cdot 10^{-4}$	2	$6,386 \cdot 10^{-5}$
106 y 107	436	420	16	$1,742 \cdot 10^{-2}$	3	$4,355 \cdot 10^{-3}$
115 y 125	420	370	35	$2,726 \cdot 10^{-2}$	6	$3,895 \cdot 10^{-3}$
32 y 50	1970	1970	100	$3,382 \cdot 10^{-4}$	6	$4,83 \cdot 10^{-5}$
63 y 108	1200	1200	100	$6,547 \cdot 10^{-3}$	11	$5,456 \cdot 10^{-4}$
68 y 109	800	800	100	$1,400 \cdot 10^{-2}$	10	$1,273 \cdot 10^{-3}$
45 y 104	445	445	100	$2,043 \cdot 10^{-3}$	3	$2,554 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.89. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 6 de la estructura 1.

Puntos	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga longitudinal (N)	Carga horizontal (N)	Carga vertical (N)
61 y 97	1970	(+/-) 100	330,2	$3,2942 \cdot 10^1$	1,1216	$1,0833 \cdot 10^1$
69 y 105	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$6,6296 \cdot 10^2$
23 y 43	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,1018 \cdot 10^2$
41 y 42	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$4,4504 \cdot 10^2$
67 y 103	1200	(+/-) 100	240	$-2,1145 \cdot 10^1$	$6,2186 \cdot 10^1$	$3,1326 \cdot 10^1$
135 y 136	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,0852 \cdot 10^1$
39 y 40	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,6369 \cdot 10^2$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,5674 \cdot 10^1$
31 y 33	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,3311 \cdot 10^3$
30 y 34	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,2117 \cdot 10^2$
73 y 109	370	(+/-) 170	690	$-1,1797 \cdot 10^1$	$5,9344 \cdot 10^1$	$5,4122 \cdot 10^1$
18	1970	0	250	0	0	$-3,9251 \cdot 10^2$
17	1200	0	240	0	0	$-9,6584 \cdot 10^2$
63	800	0	330,2	0	0	$1,1887 \cdot 10^1$
-	445	0	275	0	0	$5,4299 \cdot 10^3$

Tabla 9.90. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 6 de la estructura 1.

9.3.9.2. Cargas específicas del ensayo 6 para la estructura 2:

En la Tabla 9.91, se recogen los valores aplicados sobre cada soporte del cinturón de seguridad correspondientes a la carga que simula el desplazamiento del peso del piloto en una colisión frontal, que tiene un valor de 1,5 veces el peso del piloto y se aplica en la dirección longitudinal positiva. La disposición de las cargas sobre la estructura, se representa en la Figura 9.89.

Anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga (N)
Central	1200	0	240	163,2
Lateral derecho	800	100	250	163,2
Lateral izquierdo	800	-100	250	163,2
Superior derecho	370	100	260	163,2
Superior izquierdo	370	-100	260	163,2

Tabla 9.91. Cargas y punto de aplicación debidas a la normativa para el ensayo 6 de la estructura 2.

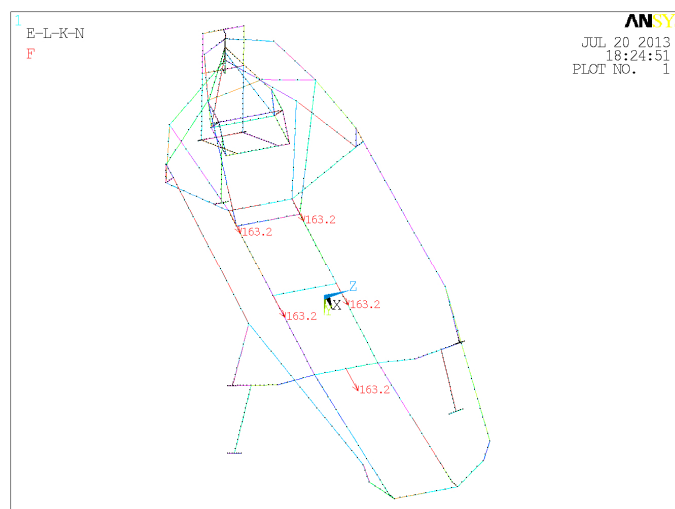


Figura 9.89. Representación de las cargas debidas a la normativa para el ensayo 6 de la estructura 2.

En la Tabla 9.92, se especifican las cargas debidas al peso de la carrocería junto a sus puntos de aplicación.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	200	480
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-200	480
Soporte exterior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	310	480
Soporte exterior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-310	480
Soporte interior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	217	228
Soporte interior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-217	228
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	648

Tabla 9.92. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 6 de la estructura 2.

Y en la Figura 9.90 se representan las cargas debidas al peso de la carrocería sobre la estructura 2.

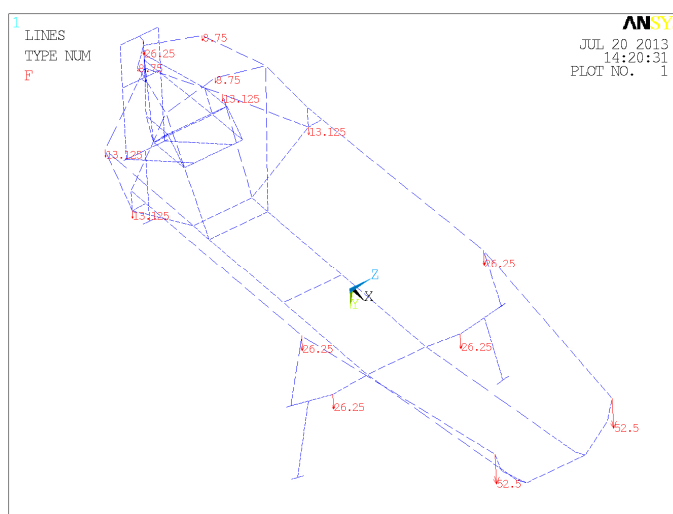


Figura 9.90. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.

Como se detalla en el anexo VII, las cargas debidas al peso del asiento que se transfieren a las barras de la estructura se distribuyen de la forma recogida en la Tabla 9.93 y las cargas que se transfieren a las uniones se recogen en la Tabla 9.94. Representándose en la Figura 9.91 en color rojo las barras sobre las que se aplican dichas cargas.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
29 y 33	1970	1920	55	$9,018 \cdot 10^{-4}$	2	$3,006 \cdot 10^{-4}$
30 y 32	1920	1835	80	$1,961 \cdot 10^{-3}$	3	$4,903 \cdot 10^{-4}$
135 y 136	1835	1515	320	$6,315 \cdot 10^{-3}$	4	$1,263 \cdot 10^{-3}$
129 y 131	1515	1200	315	$6,873 \cdot 10^{-3}$	4	$1,375 \cdot 10^{-3}$
88 y 90	1200	800	385	$8,504 \cdot 10^{-3}$	11	$7,087 \cdot 10^{-4}$
133 y 134	800	700	115	$2,544 \cdot 10^{-3}$	2	$8,480 \cdot 10^{-4}$
127 y 128	700	445	240	$6,152 \cdot 10^{-3}$	9	$6,152 \cdot 10^{-4}$
28 y 32	445	436	824	$1,993 \cdot 10^{-4}$	2	$6,645 \cdot 10^{-5}$
113 y 114	436	420	16	$1,830 \cdot 10^{-2}$	3	$4,574 \cdot 10^{-3}$
76 y 110	420	370	35	$2,766 \cdot 10^{-2}$	6	$3,951 \cdot 10^{-3}$
45 y 73	1970	1970	100	$3,072 \cdot 10^{-4}$	6	$4,389 \cdot 10^{-5}$
55 y 89	1200	1200	100	$4,787 \cdot 10^{-3}$	2	$1,596 \cdot 10^{-3}$
34 y 111	800	800	100	$1,301 \cdot 10^{-2}$	2	$4,338 \cdot 10^{-3}$
109 y 115	445	445	100	$2,598 \cdot 10^{-3}$	3	$3,248 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.93. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 6 de la estructura 2.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
57 y 65	1970	(+/-) 100	330,2	$6,022 \cdot 10^{-1}$	1,115	$2,090 \cdot 10^{-1}$
55 y 63	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$9,163 \cdot 10^{-2}$
50 y 56	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,258 \cdot 10^{-2}$
49 y 54	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$3,887 \cdot 10^{-2}$
53 y 61	1200	(+/-) 100	240	$-5,041 \cdot 10^{-1}$	1,033	$1,606 \cdot 10^{-1}$
67 y 68	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,112 \cdot 10^{-1}$
44 y 47	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,461 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,596 \cdot 10^{-1}$
27 y 28	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,640 \cdot 10^{-3}$
30 y 31	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,267 \cdot 10^{-2}$
71 y 75	370	(+/-) 170	690	$-9,817 \cdot 10^{-2}$	$5,453 \cdot 10^{-1}$	$4,218 \cdot 10^{-1}$
89	1970	0	250	0	0	0
17	1200	0	240	0	0	$-1,007 \cdot 10^{-1}$
18	800	0	330,2	0	0	$1,119 \cdot 10^{-1}$
19	445	0	275	0	0	$1,084 \cdot 10^{-2}$

Tabla 9.94. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 6 de la estructura 2.

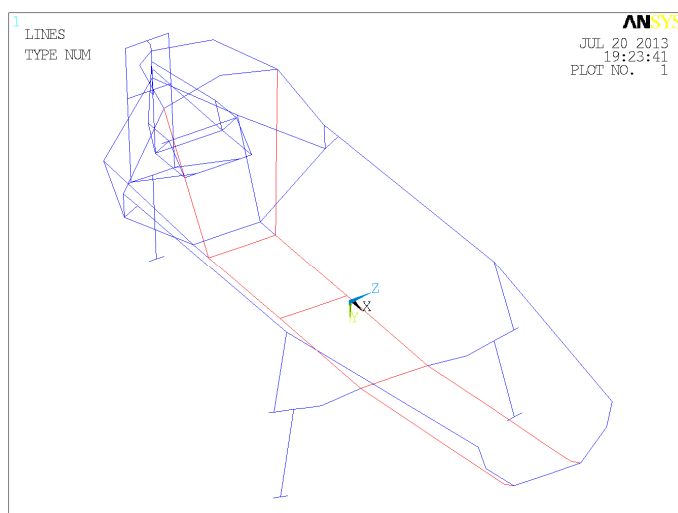


Figura 9.91. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 6 de la estructura 2.

9.3.9.3. Cargas específicas del ensayo 6 para la estructura 3:

La carga que simula el desplazamiento del peso del piloto en una colisión frontal se corresponde con una carga de 1,5 veces el peso del piloto dividida entre los cinco anclajes del cinturón de seguridad y aplicada en la dirección longitudinal positiva. Los valores aplicados a cada anclaje así como sus coordenadas se recogen en la Tabla 9.95.

Anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga (N)
Central	1200	0	220	163,2
Lateral derecho	800	180	270,2	163,2
Lateral izquierdo	800	-180	270,2	163,2
Superior derecho	370	100	260	163,2
Superior izquierdo	370	100	260	163,2

Tabla 9.95. Cargas y punto de aplicación debidas a la normativa para el ensayo 6 de la estructura 3.

Representándose las cargas debidas a la normativa con su dirección y sentido sobre la estructura 3 en la Figura 9.92.

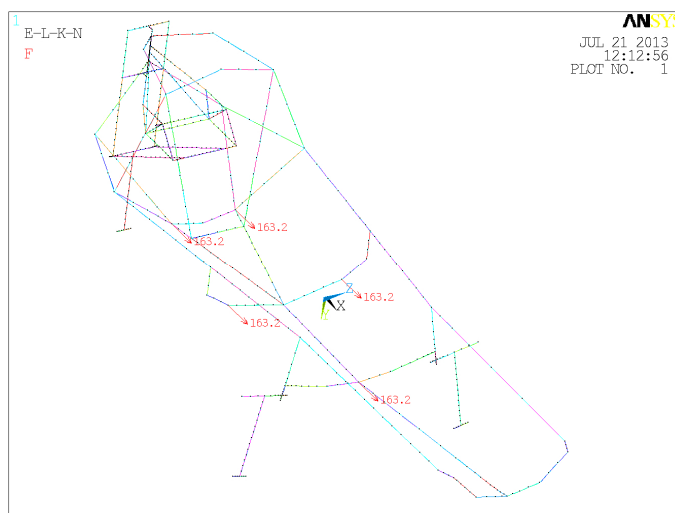


Figura 9.92. Representación de las cargas debidas a la normativa para el ensayo 6 de la estructura 3.

Las cargas debidas al peso de la carrocería que se localizan en los anclajes del carenado a la estructura se recogen junto a sus puntos de aplicación en la Tabla 9.96, representándose con su dirección y sentido, sobre la estructura 3, en la Figura 9.93 apreciándose claramente como es una carga que se aplica sobre toda la estructura. Por simplificar el análisis, se ha considerado que la carrocería no está en contacto con la estructura más que en los puntos de anclaje.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	5/36	29,17	43,75	1970	180	410,2
Soporte delantero central	1/18	11,67	17,5	1970	0	310,2
Soporte delantero derecho	5/36	29,17	43,75	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	5/36	29,17	43,75	1200	238	262
Soporte central eje	1/36	5,84	8,75	1200	0	220
Soporte derecho eje	5/36	29,17	43,75	1200	-238	262
Soporte central travesaño	1/36	5,84	8,75	800	0	230
Soporte arco seguridad izquierdo	1/30	7	10,5	370	300	410,2
Soporte arco seguridad inferior	1/30	7	10,5	370	0	240
Soporte arco seguridad derecho	1/30	7	10,5	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/30	7	10,5	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/30	7	10,5	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.96. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 6 de la estructura 3.

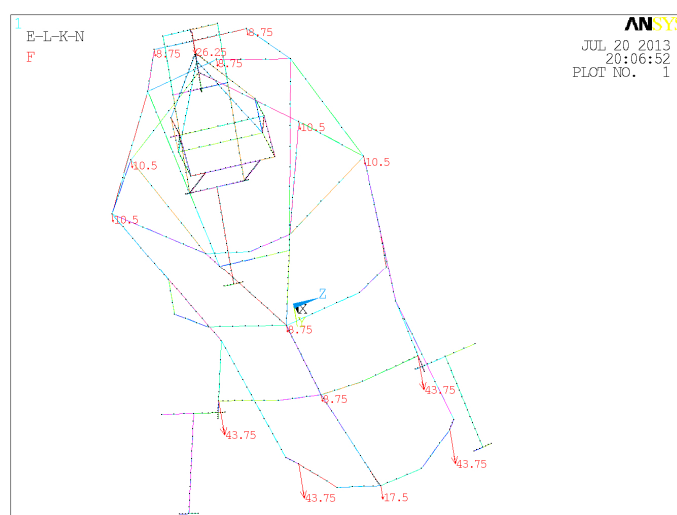


Figura 9.93. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.

Las cargas debidas al peso del asiento, obtenidas como se detalla en anexo VII del procesamiento de los resultados de un ensayo de elementos finitos al que ha sido sometido un modelo del asiento con las restricciones de desplazamiento correspondientes a los puntos de contacto del asiento con las barras de la estructura, se aplican sobre las barras marcadas en color rojo en la Figura 9.94. Clasificándose estas cargas en cargas distribuidas sobre las barras y en cargas puntuales en las uniones de las barras. Las cargas distribuidas se deben a la presión que el asiento ejerce sobre las barras en las que se apoya y sus valores junto con las barras correspondientes se recogen en la Tabla 9.97. Las cargas aplicadas en las uniones se deben a los anclajes del asiento a la estructura y otros puntos donde se coaccionan puntualmente los desplazamientos del asiento recogiendo sus valores junto a las coordenadas de sus puntos de aplicación en la Tabla 9.98.

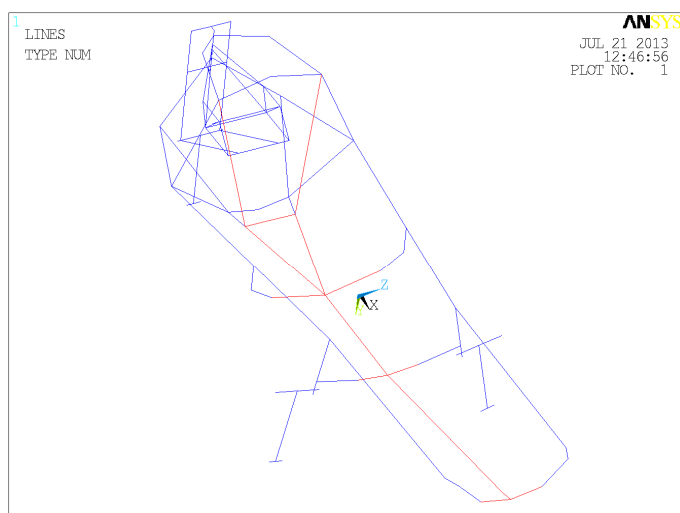


Figura 9.94. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 6 de la estructura 3.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
59	1970	1920	55	$1,050 \cdot 10^{-2}$	2	$3,500 \cdot 10^{-3}$
124	1920	1835	80	$9,591 \cdot 10^{-3}$	3	$2,398 \cdot 10^{-3}$
125	1835	1515	320	$1,303 \cdot 10^{-2}$	4	$2,607 \cdot 10^{-3}$
123	1515	1200	315	$9,111 \cdot 10^{-3}$	4	$1,822 \cdot 10^{-3}$
57	1200	800	385	$4,502 \cdot 10^{-3}$	11	$3,752 \cdot 10^{-4}$
113 y 114	800	700	115	$2,346 \cdot 10^{-3}$	2	$7,821 \cdot 10^{-4}$
31 y 58	700	445	240	$9,653 \cdot 10^{-3}$	8	$1,073 \cdot 10^{-3}$
61 y 111	445	420	824	$5,034 \cdot 10^{-4}$	3	$1,258 \cdot 10^{-4}$
115 y 116	420	370	16	$6,917 \cdot 10^{-2}$	5	$1,153 \cdot 10^{-2}$
33 y 48	1970	1970	100	$5,374 \cdot 10^{-4}$	3	$1,344 \cdot 10^{-4}$
51 y 52	1200	1200	100	0	2	0
66 y 67	800	800	100	$1,089 \cdot 10^{-2}$	5	$1,815 \cdot 10^{-3}$
108 y 109	445	445	100	$4,460 \cdot 10^{-3}$	2	$7,434 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.97. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 6 de la estructura 3.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
63 y 93	1970	(+/-) 100	330,2	1,6190	$2,269 \cdot 10^{-1}$	$8,228 \cdot 10^{-1}$
65	1970	0	310,2	0	0	$-1,972 \cdot 10^{-2}$
115	1920	0	300,2	0	0	$3,519 \cdot 10^{-2}$
36	1835	0	290,7	0	0	$-6,876 \cdot 10^{-1}$
35	1515	0	255	0	0	$1,817 \cdot 10^{-2}$
99 y 103	1200	(+/-) 100	230	-1,517	2,986	$7,135 \cdot 10^{-1}$
101	1200	0	220	0	0	$1,174 \cdot 10^{-1}$
129 y 133	800	(+/-) 180	270,2	0	0	$6,066 \cdot 10^{-1}$
114	800	0	230	0	0	$-9,370 \cdot 10^{-3}$
17 y 18	700	(+/-) 23,4	237	0	0	$4,756 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 83	255	0	0	$-2,739 \cdot 10^{-2}$
23	445	0	255	0	0	$5,366 \cdot 10^{-2}$
19 y 20	420	(+/-) 112	400,2	0	0	$1,340 \cdot 10^{-1}$
51 y 71	370	(+/-) 170	690	$-1,022 \cdot 10^{-1}$	$4,865 \cdot 10^{-1}$	$5,167 \cdot 10^{-1}$

Tabla 9.98. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 6 de la estructura 3.

9.3.10. Ensayo 6b:

Este ensayo, como los dos precedentes, recrea otra de las pruebas de resistencia del cinturón de seguridad definidas en el apartado 8.4.2. del presente documento y recogidas en la normativa de la competición.

Las restricciones aplicadas en este ensayo corresponden a los puntos de contacto del prototipo con la calzada y son: en el punto de contacto rueda trasera con la calzada se restringen los desplazamientos en los tres ejes, en la rueda delantera izquierda se restringen los desplazamientos lateral y vertical, y por último en la rueda delantera derecha se restringe el desplazamiento vertical. La representación de dichas restricciones se realiza en la Figura 9.95 sobre el modelo de la estructura 1.0 al ser las restricciones idénticas para las tres estructuras.

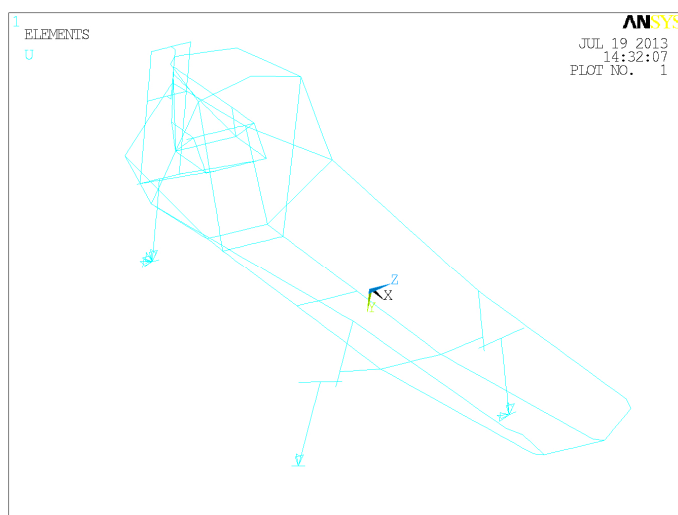


Figura 9.95. Restricciones al desplazamiento del ensayo 6b.

Las cargas que se aplican en este ensayo son: la carga de la normativa y las debidas a los pesos del motor, del embrague, del extintor, de la carrocería y del asiento. Las cargas debidas al motor, el embrague y el extintor al ser independientes de la estructura a analizar, se recogen en la Tabla 9.99 junto a las coordenadas de sus puntos de aplicación.

Elemento	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Motor en orden de marcha	33	49,5	269	-122	520
Transmisión	12	18	269	60,6	520
Extintor	21,5	32,25	370	0	260

Tabla 9.99. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 6b.

En la Figura 9.96, se pueden apreciar las cargas debidas al motor, el embrague y el extintor sobre la estructura 1.

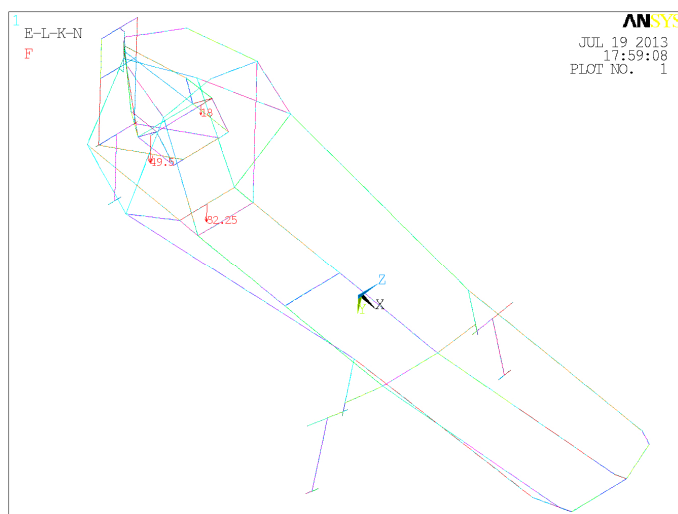


Figura 9.96. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.

El resto de cargas, al depender sus valores o sus puntos de aplicación de la estructura a analizar se detallan en los siguientes subapartados.

9.3.10.1. Cargas específicas del ensayo 6b para la estructura 1:

Para este ensayo la carga debida a la normativa se corresponde con una fuerza de 1,5 veces el peso del piloto aplicada sobre el cinturón de seguridad en la dirección vertical al simular una situación de aceleración vertical del piloto a consecuencia de una colisión o de un vuelco. Las cargas aplicadas en los anclajes del cinturón de seguridad así como las coordenadas de los mismos se recogen en la Tabla 9.100.

Anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga (N)
Central	1200	0	240	163,2
Lateral derecho	800	100	250	163,2
Lateral izquierdo	800	-100	250	163,2
Superior derecho	370	100	260	163,2
Superior izquierdo	370	-100	260	163,2

Tabla 9.100. Cargas y punto de aplicación debidas a la normativa para el ensayo 6b de la estructura 1.

Representándose estas fuerzas con su dirección y sentido, sobre la estructura 1, en la Figura 9.97 a fin de poder apreciar más claramente lo anteriormente indicado.

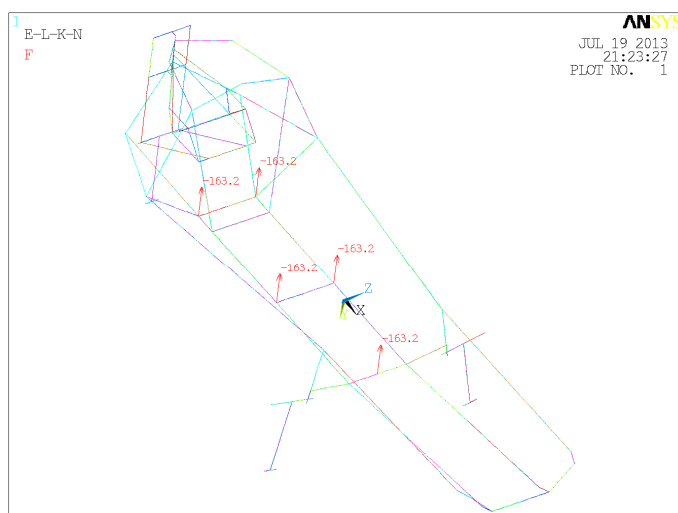


Figura 9.97. Representación de las cargas debidas a la normativa para el ensayo 6b de la estructura 1.

Las cargas debidas a la carrocería se recogen en la Tabla 9.101 y se representan en la Figura 9.98.

	Fración de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	180	410,2
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	1/6	35	52,5	1200	238	262
Soporte derecho eje	1/6	35	52,5	1200	-238	262
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.101. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 6b de la estructura 1.

Las cargas debidas al peso del asiento, como se detalla en el anexo VII, se han obtenido como resultado de procesar las reacciones de un ensayo de elementos finitos a un modelo del asiento coaccionado de forma que simulase adecuadamente su comportamiento una vez montado sobre la estructura así como permitiese obtener las cargas que el asiento transmite a la estructura en dicha situación. Aplicándose dichas cargas en las barras marcadas en color rojo en la Figura 9.99. Estas cargas se clasifican en cargas distribuidas en las barras que se recogen en la Tabla 9.102 y cargas puntuales en las uniones que se recogen en la Tabla 9.103.

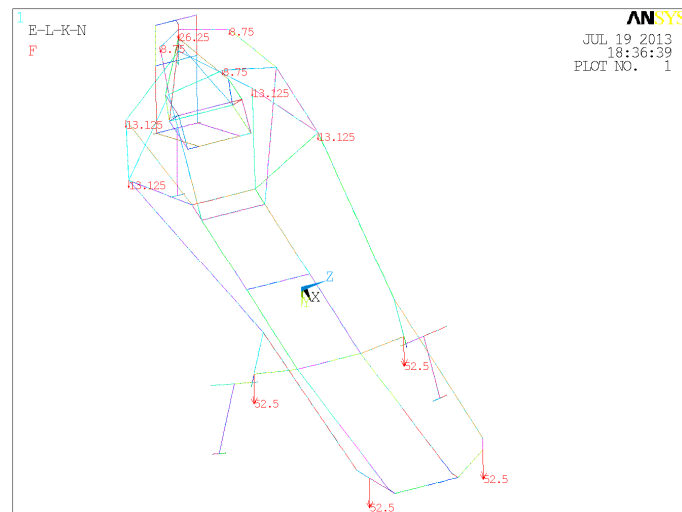


Figura 9.98. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.

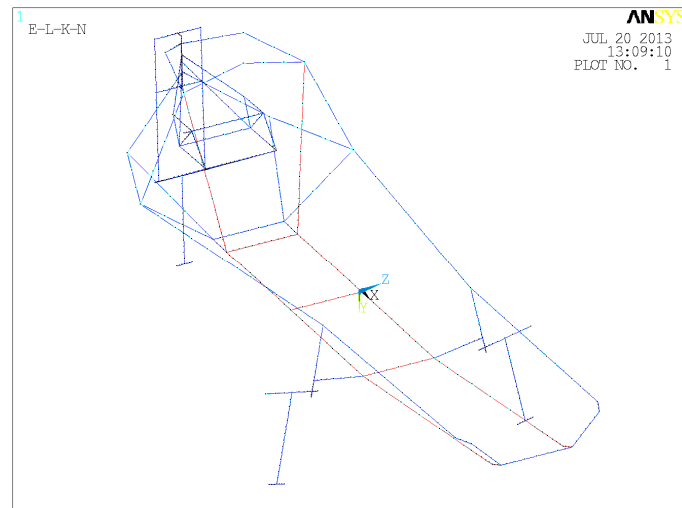


Figura 9.99. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 6b de la estructura 1.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
36 y 54	1970	1920	55	$8,914 \cdot 10^{-4}$	2	$2,971 \cdot 10^{-4}$
112 y 120	1920	1835	80	$1,973 \cdot 10^{-3}$	3	$4,932 \cdot 10^{-4}$
118 y 124	1835	1515	320	$4,720 \cdot 10^{-3}$	6	$6,744 \cdot 10^{-4}$
119 y 121	1515	1200	315	$5,242 \cdot 10^{-3}$	6	$7,488 \cdot 10^{-4}$
90 y 94	1200	800	385	$9,038 \cdot 10^{-3}$	12	$6,952 \cdot 10^{-4}$
122 y 123	800	700	115	$2,561 \cdot 10^{-3}$	2	$8,538 \cdot 10^{-4}$
113-126 y 114-127	700	445	240	$6,144 \cdot 10^{-3}$	9	$6,144 \cdot 10^{-4}$
110 y 111	445	436	824	$1,916 \cdot 10^{-4}$	2	$6,386 \cdot 10^{-5}$
106 y 107	436	420	16	$1,742 \cdot 10^{-2}$	3	$4,355 \cdot 10^{-3}$
115 y 125	420	370	35	$2,726 \cdot 10^{-2}$	6	$3,895 \cdot 10^{-3}$
32 y 50	1970	1970	100	$3,382 \cdot 10^{-4}$	6	$4,83 \cdot 10^{-5}$
63 y 108	1200	1200	100	$6,547 \cdot 10^{-3}$	11	$5,456 \cdot 10^{-4}$
68 y 109	800	800	100	$1,400 \cdot 10^{-2}$	10	$1,273 \cdot 10^{-3}$
45 y 104	445	445	100	$2,043 \cdot 10^{-3}$	3	$2,554 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.102. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 6b de la estructura 1.

Puntos	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga longitudinal (N)	Carga horizontal (N)	Carga vertical (N)
61 y 97	1970	(+/-) 100	330,2	$3,2942 \cdot 10^{-1}$	1,1216	$1,0833 \cdot 10^{-1}$
69 y 105	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$6,6296 \cdot 10^{-2}$
23 y 43	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,1018 \cdot 10^{-2}$
41 y 42	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$4,4504 \cdot 10^{-2}$
67 y 103	1200	(+/-) 100	240	$-2,1145 \cdot 10^{-1}$	$6,2186 \cdot 10^{-1}$	$3,1326 \cdot 10^{-1}$
135 y 136	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,0852 \cdot 10^{-1}$
39 y 40	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,6369 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,5674 \cdot 10^{-1}$
31 y 33	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,3311 \cdot 10^{-3}$
30 y 34	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,2117 \cdot 10^{-2}$
73 y 109	370	(+/-) 170	690	$-1,1797 \cdot 10^{-1}$	$5,9344 \cdot 10^{-1}$	$5,4122 \cdot 10^{-1}$
18	1970	0	250	0	0	$-3,9251 \cdot 10^{-2}$
17	1200	0	240	0	0	$-9,6584 \cdot 10^{-2}$
63	800	0	330,2	0	0	$1,1887 \cdot 10^{-1}$
-	445	0	275	0	0	$5,4299 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.103. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 6b de la estructura 1.

9.3.10.2. Cargas específicas del ensayo 6b para la estructura 2:

Como se indicó para la estructura 1, la carga debida a la normativa corresponde con una fuerza de 1,5 veces el peso del piloto aplicada en la dirección vertical y distribuida entre los anclajes del cinturón de seguridad de la forma recogida en la Tabla 9.104, junto a las coordenadas de los anclajes del cinturón de seguridad. Representándose sobre la estructura en la Figura 9.100.

Anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga (N)
Central	1200	0	240	163,2
Lateral derecho	800	100	250	163,2
Lateral izquierdo	800	-100	250	163,2
Superior derecho	370	100	260	163,2
Superior izquierdo	370	-100	260	163,2

Tabla 9.104. Cargas y punto de aplicación debidas a la normativa para el ensayo 6b de la estructura 2.

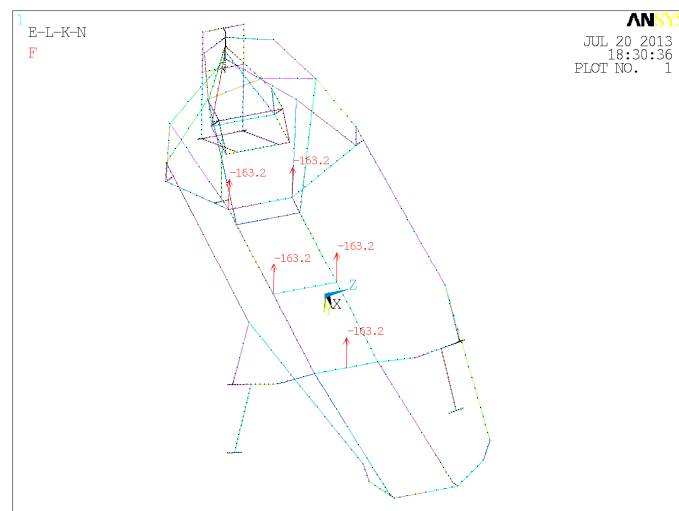


Figura 9.100. Representación de las cargas debidas a la normativa para el ensayo 6b de la estructura 2.

Las cargas debidas a la carrocería se recogen en la Tabla 9.105 y se representan en la Figura 9.101.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	200	480
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-200	480
Soporte exterior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	310	480
Soporte exterior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-310	480
Soporte interior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	217	228
Soporte interior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-217	228
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	648

Tabla 9.105. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 6b de la estructura 2.

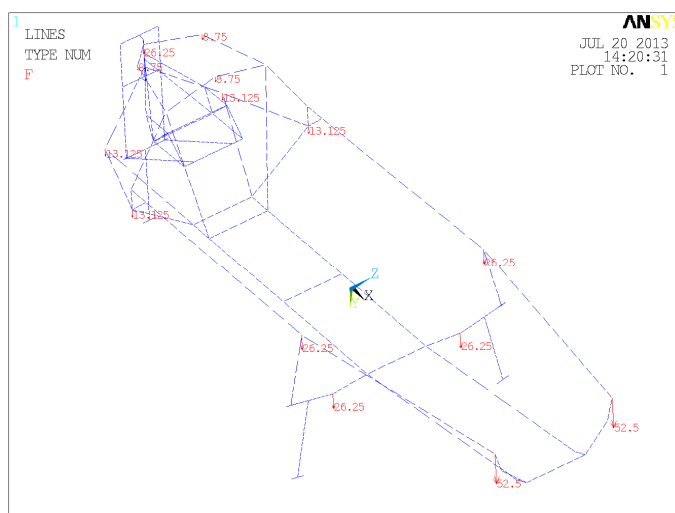


Figura 9.101. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.

Las cargas debidas al peso del asiento se han obtenido, según se detalla en el anexo VII, procesando las reacciones obtenidas de realizar un análisis de elementos finitos del asiento coaccionado como si estuviese en su posición de trabajo sobre la estructura del prototipo, en este caso la estructura 2. Dichas cargas se clasifican en cargas sobre las barras, consecuencia de las presiones que transmite el asiento a la estructura y que se recogen en la Tabla 9.106, y cargas en las uniones de las barras debidas a las reacciones en los nodos de la estructura que se recogen en la Tabla 9.107. A fin de poder apreciar claramente todas las barras sobre las que se aplican las cargas debidas al peso del piloto se han marcado dichas barras en color rojo en la Figura 9.102.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
29 y 33	1970	1920	55	$9,018 \cdot 10^{-4}$	2	$3,006 \cdot 10^{-4}$
30 y 32	1920	1835	80	$1,961 \cdot 10^{-3}$	3	$4,903 \cdot 10^{-4}$
135 y 136	1835	1515	320	$6,315 \cdot 10^{-3}$	4	$1,263 \cdot 10^{-3}$
129 y 131	1515	1200	315	$6,873 \cdot 10^{-3}$	4	$1,375 \cdot 10^{-3}$
88 y 90	1200	800	385	$8,504 \cdot 10^{-3}$	11	$7,087 \cdot 10^{-4}$
133 y 134	800	700	115	$2,544 \cdot 10^{-3}$	2	$8,480 \cdot 10^{-4}$
127 y 128	700	445	240	$6,152 \cdot 10^{-3}$	9	$6,152 \cdot 10^{-4}$
28 y 32	445	436	824	$1,993 \cdot 10^{-4}$	2	$6,645 \cdot 10^{-5}$
113 y 114	436	420	16	$1,830 \cdot 10^{-2}$	3	$4,574 \cdot 10^{-3}$
76 y 110	420	370	35	$2,766 \cdot 10^{-2}$	6	$3,951 \cdot 10^{-3}$
45 y 73	1970	1970	100	$3,072 \cdot 10^{-4}$	6	$4,389 \cdot 10^{-5}$
55 y 89	1200	1200	100	$4,787 \cdot 10^{-3}$	2	$1,596 \cdot 10^{-3}$
34 y 111	800	800	100	$1,301 \cdot 10^{-2}$	2	$4,338 \cdot 10^{-3}$
109 y 115	445	445	100	$2,598 \cdot 10^{-3}$	3	$3,248 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.106. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 6b de la estructura 2.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
57 y 65	1970	(+/-) 100	330,2	$6,022 \cdot 10^{-1}$	1,115	$2,090 \cdot 10^{-1}$
55 y 63	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$9,163 \cdot 10^{-2}$
50 y 56	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,258 \cdot 10^{-2}$
49 y 54	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$3,887 \cdot 10^{-2}$
53 y 61	1200	(+/-) 100	240	$-5,041 \cdot 10^{-1}$	1,033	$1,606 \cdot 10^{-1}$
67 y 68	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,112 \cdot 10^{-1}$
44 y 47	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,461 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,596 \cdot 10^{-1}$
27 y 28	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,640 \cdot 10^{-3}$
30 y 31	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,267 \cdot 10^{-2}$
71 y 75	370	(+/-) 170	690	$-9,817 \cdot 10^{-2}$	$5,453 \cdot 10^{-1}$	$4,218 \cdot 10^{-1}$
89	1970	0	250	0	0	0
17	1200	0	240	0	0	$-1,007 \cdot 10^{-1}$
18	800	0	330,2	0	0	$1,119 \cdot 10^{-1}$
19	445	0	275	0	0	$1,084 \cdot 10^{-2}$

Tabla 9.107. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 6b de la estructura 2.

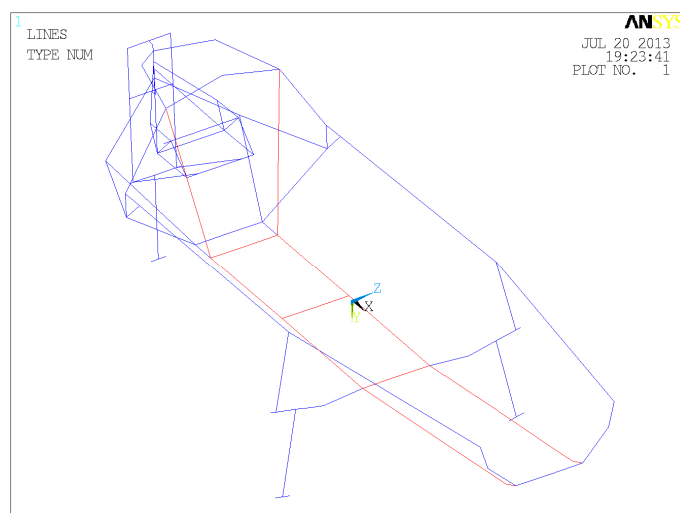


Figura 9.102. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 6b de la estructura 2.

9.3.10.3. Cargas específicas del ensayo 6b para la estructura 3:

La carga debida a la normativa es una fuerza de 1,5 veces el peso del piloto aplicada sobre el cinturón de seguridad en la dirección vertical. En la Tabla 9.108, se recogen las cargas aplicadas en los anclajes del cinturón de seguridad así como las coordenadas de los mismos.

Anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga (N)
Central	1200	0	220	163,2
Lateral derecho	800	180	270,2	163,2
Lateral izquierdo	800	-180	270,2	163,2
Superior derecho	370	100	260	163,2
Superior izquierdo	370	100	260	163,2

Tabla 9.108. Cargas y punto de aplicación debidas a la normativa para el ensayo 6b de la estructura 3.

En la Figura 9.103 se puede apreciar la disposición de dichas cargas sobre la estructura.

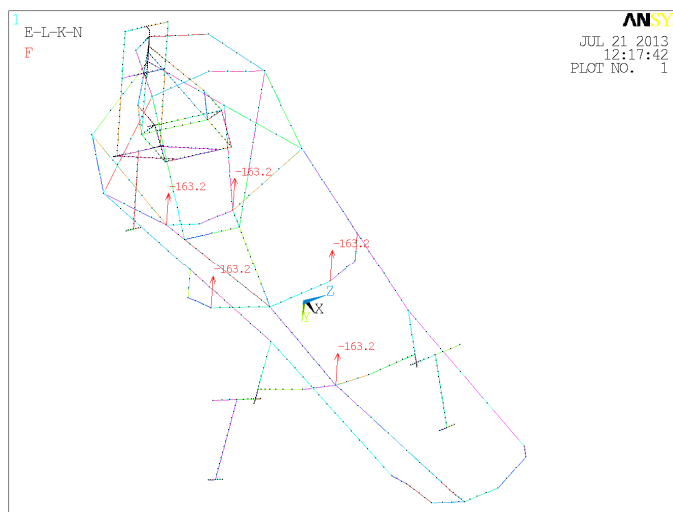


Figura 9.103. Representación de las cargas debidas a la normativa para el ensayo 6b de la estructura 3.

En la Tabla 9.109, se resume la distribución de cargas debida a la carrocería así como los puntos de aplicación de cada una de ellas. Y en la Figura 9.104, se representa esta distribución de cargas sobre la estructura a analizar.

Las cargas sobre las barras debidas al peso del asiento y obtenidas en el anexo VII, se resumen en la Tabla 9.110. En la Tabla 9.111 se recogen las cargas sobre las uniones debidas al peso del asiento. Apreciándose, en la Figura 9.105, las barras sobre las que se aplican dichas cargas.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	5/36	29,17	43,75	1970	180	410,2
Soporte delantero central	1/18	11,67	17,5	1970	0	310,2
Soporte delantero derecho	5/36	29,17	43,75	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	5/36	29,17	43,75	1200	238	262
Soporte central eje	1/36	5,84	8,75	1200	0	220
Soporte derecho eje	5/36	29,17	43,75	1200	-238	262
Soporte central travesaño	1/36	5,84	8,75	800	0	230
Soporte arco seguridad izquierdo	1/30	7	10,5	370	300	410,2
Soporte arco seguridad inferior	1/30	7	10,5	370	0	240
Soporte arco seguridad derecho	1/30	7	10,5	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/30	7	10,5	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/30	7	10,5	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.109. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 6b de la estructura 3.

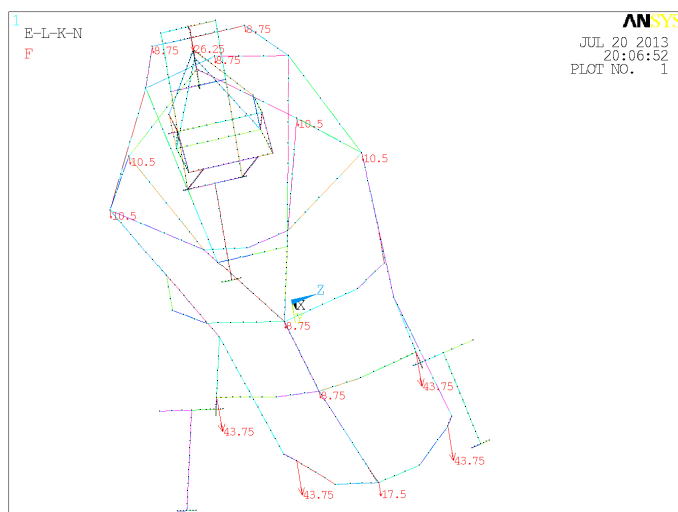


Figura 9.104. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
59	1970	1920	55	$1,050 \cdot 10^{-2}$	2	$3,500 \cdot 10^{-3}$
124	1920	1835	80	$9,591 \cdot 10^{-3}$	3	$2,398 \cdot 10^{-3}$
125	1835	1515	320	$1,303 \cdot 10^{-2}$	4	$2,607 \cdot 10^{-3}$
123	1515	1200	315	$9,111 \cdot 10^{-3}$	4	$1,822 \cdot 10^{-3}$
57	1200	800	385	$4,502 \cdot 10^{-3}$	11	$3,752 \cdot 10^{-4}$
113 y 114	800	700	115	$2,346 \cdot 10^{-3}$	2	$7,821 \cdot 10^{-4}$
31 y 58	700	445	240	$9,653 \cdot 10^{-3}$	8	$1,073 \cdot 10^{-3}$
61 y 111	445	420	824	$5,034 \cdot 10^{-4}$	3	$1,258 \cdot 10^{-4}$
115 y 116	420	370	16	$6,917 \cdot 10^{-2}$	5	$1,153 \cdot 10^{-2}$
33 y 48	1970	1970	100	$5,374 \cdot 10^{-4}$	3	$1,344 \cdot 10^{-4}$
51 y 52	1200	1200	100	0	2	0
66 y 67	800	800	100	$1,089 \cdot 10^{-2}$	5	$1,815 \cdot 10^{-3}$
108 y 109	445	445	100	$4,460 \cdot 10^{-3}$	2	$7,434 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.110. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 6b de la estructura 3.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
63 y 93	1970	(+/-) 100	330,2	1,6190	$2,269 \cdot 10^{-1}$	$8,228 \cdot 10^{-1}$
65	1970	0	310,2	0	0	$-1,972 \cdot 10^{-2}$
115	1920	0	300,2	0	0	$3,519 \cdot 10^{-2}$
36	1835	0	290,7	0	0	$-6,876 \cdot 10^{-1}$
35	1515	0	255	0	0	$1,817 \cdot 10^{-2}$
99 y 103	1200	(+/-) 100	230	-1,517	2,986	$7,135 \cdot 10^{-1}$
101	1200	0	220	0	0	$1,174 \cdot 10^{-1}$
129 y 133	800	(+/-) 180	270,2	0	0	$6,066 \cdot 10^{-1}$
114	800	0	230	0	0	$-9,370 \cdot 10^{-3}$
17 y 18	700	(+/-) 23,4	237	0	0	$4,756 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 83	255	0	0	$-2,739 \cdot 10^{-2}$
23	445	0	255	0	0	$5,366 \cdot 10^{-2}$
19 y 20	420	(+/-) 112	400,2	0	0	$1,340 \cdot 10^{-1}$
51 y 71	370	(+/-) 170	690	$-1,022 \cdot 10^{-1}$	$4,865 \cdot 10^{-1}$	$5,167 \cdot 10^{-1}$

Tabla 9.111. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 6b de la estructura 3.



Figura 9.105. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 6b de la estructura 3.

9.3.11. Ensayo 7:

Este ensayo y el siguiente corresponden al ensayo del sistema de frenos del prototipo definido en el apartado 8.4.3. del presente proyecto y recogido en la normativa de la competición. El ensayo consiste en poner el prototipo en una rampa de un 20% de inclinación donde debe permanecer soportado por un solo sistema de frenos, el delantero o el trasero. En el caso del presente ensayo permanecerá activado el sistema de frenos correspondiente al eje delantero.

Las restricciones aplicadas en el ensayo son: bloqueo de los desplazamientos en todas direcciones de los puntos de contacto de las ruedas delanteras con la calzada y bloqueo del desplazamiento vertical del punto de contacto de la rueda trasera con la calzada. En la Figura 9.106 se pueden

apreciar dichas restricciones sobre la estructura 1, ya que los puntos de contacto con la calzada son comunes a las tres estructuras.

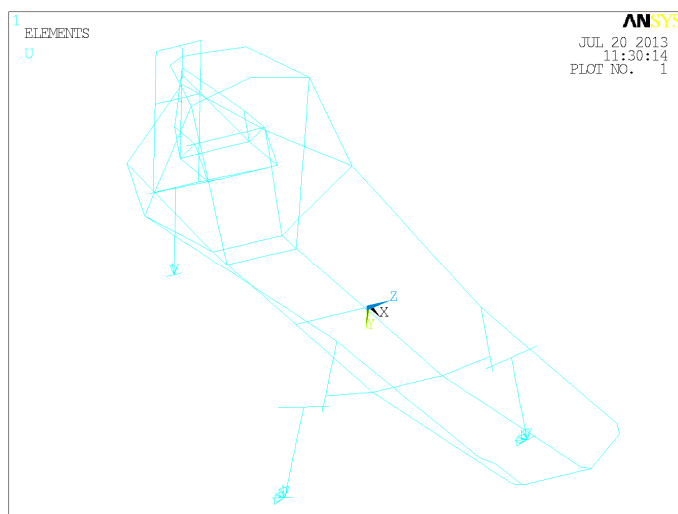


Figura 9.106. Restricciones al desplazamiento del ensayo 7.

Para simular el efecto del peso propio de la estructura, se ha considerado que la gravedad no actúe en la dirección vertical de la estructura sino con la inclinación debida al plano inclinado sobre el que debe permanecer el prototipo, obteniéndose las componentes recogidas en la Tabla 9.112.

Componente vertical (m/s^2)	Componente longitudinal (m/s^2)
9,62	1,92

Tabla 9.112. Componentes de la fuerza de la gravedad para el ensayo 7.

Las cargas aplicadas en este ensayo son las debidas a los pesos del motor, del embrague, del extintor, de la carrocería, del piloto y del asiento. En la Tabla 9.113 se recogen las componentes de las cargas debidas a los pesos del motor, del embrague y del extintor así como los puntos de aplicación de dichas cargas, al ser estos valores independientes de la estructura a analizar.

Elemento	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Carga vertical (N)	Carga longitudinal (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Motor en orden de marcha	33	49,5	32,36	6,47	269	-122	520
Transmisión	12	18	17,65	3,53	269	60,6	520
Extintor	21,5	32,25	31,62	6,32	370	0	260

Tabla 9.113. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 7.

Y en la Figura 9.107, se pueden apreciar las cargas correspondientes a los pesos del motor, del embrague y del extintor.

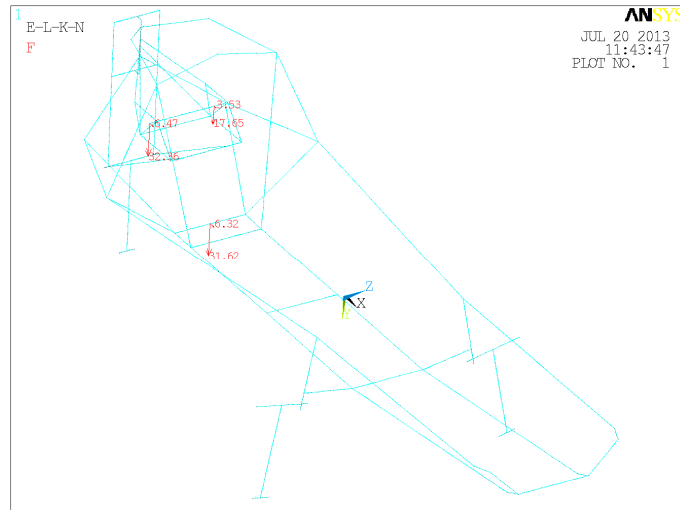


Figura 9.107. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.

El resto de cargas, se detallan en los siguientes subapartados en función de la estructura a analizar.

9.3.11.1. Cargas específicas del ensayo 7 para la estructura 1:

Las cargas debidas a la carrocería, para la estructura 1, teniendo en cuenta la inclinación del modelo con respecto a la vertical, se representan en la Figura 9.108 y sus valores se recogen en la Tabla 9.114.

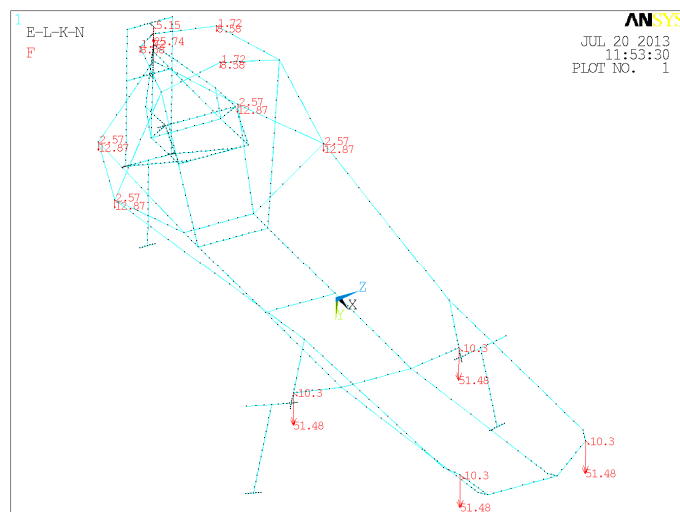


Figura 9.108. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.



	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Carga vertical (N)	Carga longitudinal (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	51,48	10,30	1970	180	410,2
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	51,48	10,30	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	1/6	35	52,5	51,48	10,30	1200	238	262
Soporte derecho eje	1/6	35	52,5	51,48	10,30	1200	-238	262
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	12,87	2,57	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	12,87	2,57	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	12,87	2,57	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	12,87	2,57	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	25,74	5,15	20	0	650

Tabla 9.114. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 7 de la estructura 1.

Las cargas del asiento y el piloto sobre las barras de la estructura, cuyo proceso de obtención se detalla en el anexo VII y que son resultado de un ensayo de elementos finitos al que se ha sometido a un modelo del asiento adecuadamente coaccionado, se recogen en la Tabla 9.115 junto con las barras sobre las que se aplican. Las cargas puntuales en las uniones de la estructura debidas al peso del piloto y el asiento se recogen en la Tabla 9.116 junto con las coordenadas de sus puntos de aplicación. Pudiéndose apreciar las barras sobre las que se aplican dichas cargas en la Figura 9.109, donde se han marcado en color rojo.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
36 y 54	1970	1920	55	0	2	0
112 y 120	1920	1835	80	$2,043 \cdot 10^{-1}$	3	$5,107 \cdot 10^{-2}$
118 y 124	1835	1515	320	$1,224 \cdot 10^{-1}$	6	$1,748 \cdot 10^{-2}$
119 y 121	1515	1200	315	$2,673 \cdot 10^{-1}$	6	$3,818 \cdot 10^{-2}$
90 y 94	1200	800	385	$1,341 \cdot 10^{-1}$	12	$1,032 \cdot 10^{-2}$
122 y 123	800	700	115	$4,031 \cdot 10^{-2}$	2	$1,344 \cdot 10^{-2}$
113-126 y 114-127	700	445	240	$1,003 \cdot 10^{-1}$	9	$1,003 \cdot 10^{-2}$
110 y 111	445	436	824	$4,657 \cdot 10^{-3}$	2	$1,552 \cdot 10^{-3}$
106 y 107	436	420	16	$2,993 \cdot 10^{-1}$	3	$7,481 \cdot 10^{-2}$
115 y 125	420	370	35	$1,094 \cdot 10^{-1}$	6	$1,562 \cdot 10^{-2}$
32 y 50	1970	1970	100	0	6	0
63 y 108	1200	1200	100	$1,674 \cdot 10^{-1}$	2	$5,580 \cdot 10^{-2}$
68 y 109	800	800	100	$5,884 \cdot 10^{-1}$	2	$1,961 \cdot 10^{-1}$
45 y 104	445	445	100	$1,114 \cdot 10^{-2}$	7	$1,392 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.115. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 7 de la estructura 1.

Puntos	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga longitudinal (N)	Carga horizontal (N)	Carga vertical (N)
61 y 97	1970	(+/-) 100	330,2	6,488	14,94	2,372
69 y 105	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$9,076 \cdot 10^{-1}$
23 y 43	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$5,589 \cdot 10^{-1}$
41 y 42	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	1,117
67 y 103	1200	(+/-) 100	240	-11,40	22,15	8,700
135 y 136	800	(+/-) 100	250	0	0	21,91
39 y 40	700	(+/-) 100	252	0	0	2,340
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	3,806
31 y 33	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$3,818 \cdot 10^{-2}$
30 y 34	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$6,040 \cdot 10^{-1}$
73 y 109	370	(+/-) 170	690	$4,925 \cdot 10^{-2}$	1,931	$-6,884 \cdot 10^{-1}$
18	1970	0	250	0	0	$-5,545 \cdot 10^{-1}$
17	1200	0	240	0	0	-1,120
63	800	0	330,2	0	0	6,013
-	445	0	275	0	0	$-2,321 \cdot 10^{-1}$

Tabla 9.116. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 7 de la estructura 1.

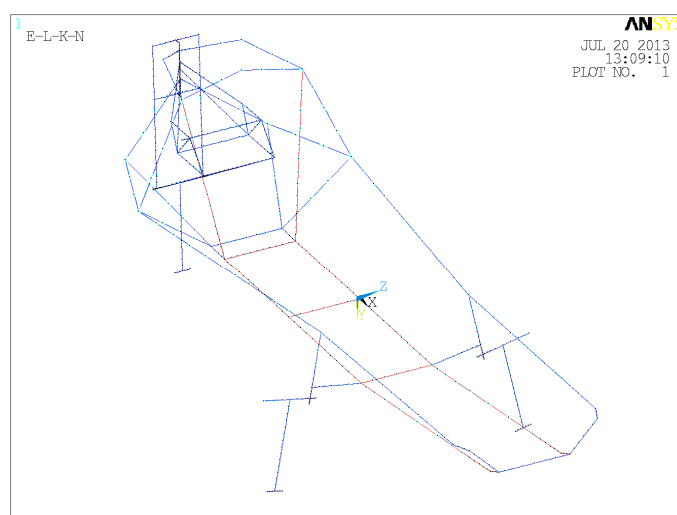


Figura 9.109. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 7 de la estructura 1.

9.3.11.2. Cargas específicas del ensayo 7 para la estructura 2:

En este ensayo al estar el prototipo sobre una rampa las cargas debidas al peso de la carrocería presentan dos componentes como se recogen en la Tabla 9.117, junto con las coordenadas de sus puntos de aplicación. Por simplificación se ha considerado que está inclinación no modifica la posición ni el contacto de la carrocería con la estructura. Por otro lado, en la Figura 9.110, se puede apreciar como se distribuyen estas cargas sobre la estructura de la misma forma que para el resto de ensayos.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Carga vertical (N)	Carga longitudinal (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	51,48	10,30	1970	200	480
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	25,75	5,15	1970	-200	480
Soporte exterior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	25,75	5,15	1200	310	480
Soporte exterior derecho eje	1/12	17,5	26,25	25,75	5,15	1200	-310	480
Soporte interior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	25,75	5,15	1200	217	228
Soporte interior derecho eje	1/12	17,5	26,25	25,75	5,15	1200	-217	228
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	12,87	2,57	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	12,87	2,57	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	12,87	2,57	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	12,87	2,57	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	25,75	5,15	20	0	648

Tabla 9.117. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 7 de la estructura 2.

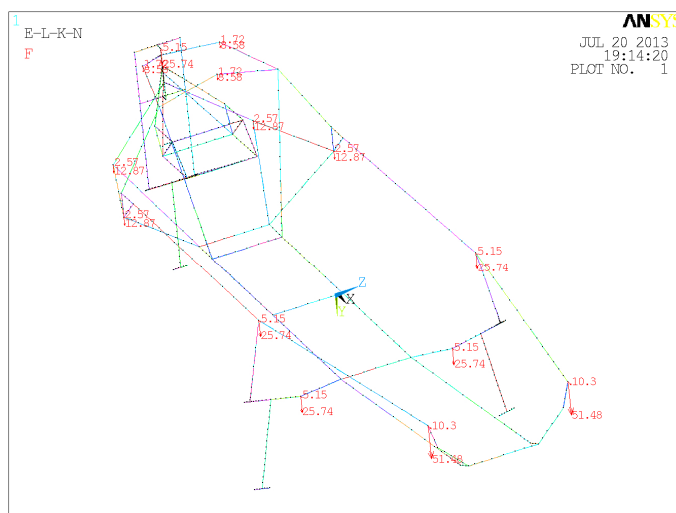


Figura 9.110. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.

En el anexo VII, se calculan las cargas del asiento y el piloto cuyas reacciones sobre las barras de la estructura se recogen en la Tabla 9.118. En la Tabla 9.119 se recogen las cargas en las uniones debidas al peso del asiento y el piloto. Representándose las zonas de aplicación de dichas cargas en la Figura 9.111.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión sobre la línea (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
29 y 33	1970	1920	55	0	2	0
30 y 32	1920	1835	80	$2,062 \cdot 10^{-1}$	3	$5,156 \cdot 10^{-2}$
135 y 136	1835	1515	320	$1,313 \cdot 10^{-1}$	4	$2,626 \cdot 10^{-2}$
129 y 131	1515	1200	315	$2,583 \cdot 10^{-1}$	4	$5,166 \cdot 10^{-2}$
88 y 90	1200	800	385	$1,238 \cdot 10^{-1}$	11	$1,032 \cdot 10^{-2}$
133 y 134	800	700	115	$3,468 \cdot 10^{-2}$	2	$1,156 \cdot 10^{-2}$
127 y 128	700	445	240	$1,061 \cdot 10^{-1}$	9	$1,061 \cdot 10^{-2}$
28 y 32	445	436	824	$4,584 \cdot 10^{-3}$	2	$1,528 \cdot 10^{-3}$
113 y 114	436	420	16	$3,118 \cdot 10^{-1}$	3	$7,794 \cdot 10^{-2}$
76 y 110	420	370	35	$1,334 \cdot 10^{-1}$	6	$1,905 \cdot 10^{-2}$
45 y 73	1970	1970	100	0	6	0
55 y 89	1200	1200	100	$1,437 \cdot 10^{-1}$	2	$4,789 \cdot 10^{-2}$
34 y 111	800	800	100	$5,402 \cdot 10^{-1}$	2	$1,801 \cdot 10^{-1}$
109 y 115	445	445	100	$1,624 \cdot 10^{-2}$	3	$2,031 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.118. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 7 de la estructura 2.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
57 y 65	1970	(+/-) 100	330,2	11,85	14,83	4,349
55 y 63	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$3,278 \cdot 10^{-1}$
50 y 56	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$5,778 \cdot 10^{-1}$
49 y 54	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$8,589 \cdot 10^{-1}$
53 y 61	1200	(+/-) 100	240	-17,29	50,36	6,069
67 y 68	800	(+/-) 100	250	0	0	21,96
44 y 47	700	(+/-) 100	252	0	0	2,235
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	3,768
27 y 28	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$5,589 \cdot 10^{-2}$
30 y 31	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$4,114 \cdot 10^{-1}$
71 y 75	370	(+/-) 170	690	$6,987 \cdot 10^{-1}$	$2,320 \cdot 10^{-1}$	-4,605
89	1970	0	250	0	0	$-5,599 \cdot 10^{-1}$
17	1200	0	240	0	0	$-6,658 \cdot 10^{-1}$
18	800	0	330,2	0	0	5,600
19	445	0	275	0	0	$-2,173 \cdot 10^{-2}$

Tabla 9.119. Cargas en las uniones debidas al piloto y al asiento en el ensayo 7 de la estructura 2.

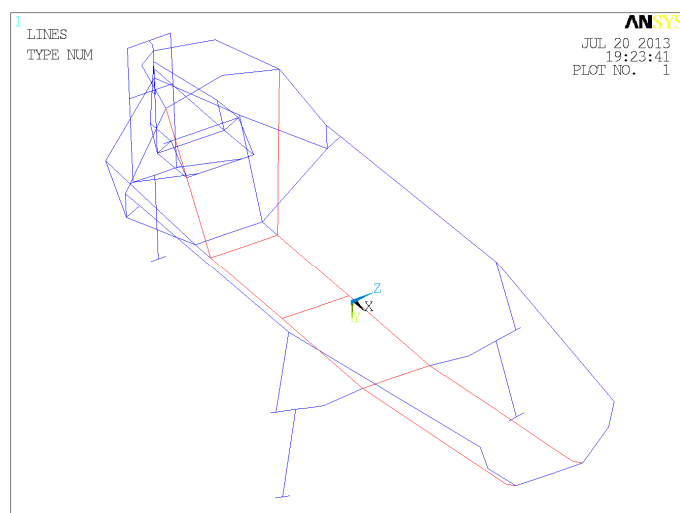


Figura 9.111. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 7 de la estructura 2.

9.3.11.3. Cargas específicas del ensayo 7 para la estructura 3:

Las cargas debidas a la carrocería, teniendo en cuenta la inclinación del modelo, se representan en la Figura 9.112 sobre la estructura 1 y sus valores junto con las coordenadas de sus puntos de aplicación se recogen en la Tabla 9.120.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Carga vertical (N)	Carga longitudinal (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	5/36	29,17	43,75	42,90	8,58	1970	180	410,2
Soporte delantero central	1/18	11,67	17,5	17,19	3,43	1970	0	310,2
Soporte delantero derecho	5/36	29,17	43,75	42,90	8,58	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	5/36	29,17	43,75	42,90	8,58	1200	238	262
Soporte central eje	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	1200	0	220
Soporte derecho eje	5/36	29,17	43,75	42,90	8,58	1200	-238	262
Soporte central travesaño	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	800	0	230
Soporte arco seguridad izquierdo	1/30	7	10,5	10,30	2,06	370	300	410,2
Soporte arco seguridad inferior	1/30	7	10,5	10,30	2,06	370	0	240
Soporte arco seguridad derecho	1/30	7	10,5	10,30	2,06	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/30	7	10,5	10,30	2,06	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/30	7	10,5	10,30	2,06	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	25,74	5,15	20	0	650

Tabla 9.120. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 7 de la estructura 3.

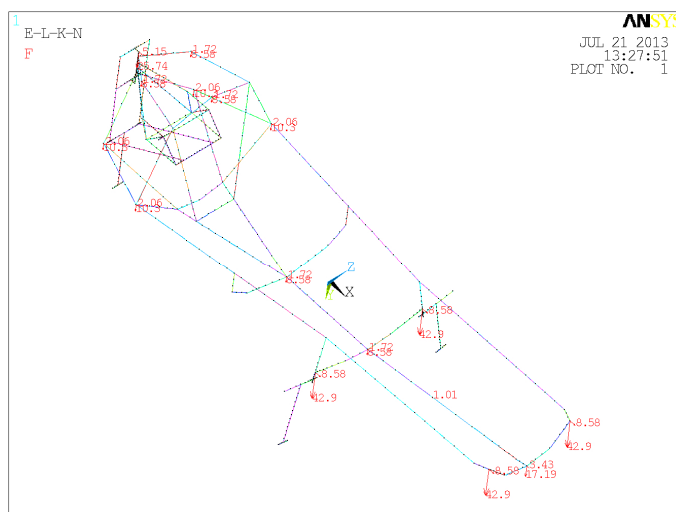


Figura 9.112. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.

Las cargas debidas al asiento y al piloto, obtenidas en el anexo VII, se aplican en las barras rojas de la Figura 9.113 recogiendo en la Tabla 9.121 y en la Tabla 9.122.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
59	1970	1920	55	$4,273 \cdot 10^{-1}$	2	$1,424 \cdot 10^{-1}$
124	1920	1835	80	$3,962 \cdot 10^{-1}$	3	$9,905 \cdot 10^{-2}$
125	1835	1515	320	$4,047 \cdot 10^{-1}$	4	$8,095 \cdot 10^{-2}$
123	1515	1200	315	$4,294 \cdot 10^{-1}$	4	$8,589 \cdot 10^{-2}$
57	1200	800	385	$3,102 \cdot 10^{-2}$	11	$2,585 \cdot 10^{-3}$
113 y 114	800	700	115	$4,912 \cdot 10^{-3}$	2	$1,637 \cdot 10^{-3}$
31 y 58	700	445	240	$1,884 \cdot 10^{-1}$	8	$2,093 \cdot 10^{-2}$
61 y 111	445	420	824	$5,018 \cdot 10^{-3}$	3	$1,255 \cdot 10^{-3}$
115 y 116	420	370	16	$1,488 \cdot 10^{-1}$	5	$2,480 \cdot 10^{-2}$
33 y 48	1970	1970	100	$1,277 \cdot 10^{-2}$	3	$3,194 \cdot 10^{-3}$
51 y 52	1200	1200	100	0	2	0
66 y 67	800	800	100	$2,149 \cdot 10^{-1}$	5	$3,582 \cdot 10^{-2}$
108 y 109	445	445	100	$4,424 \cdot 10^{-2}$	2	$7,373 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.121. Cargas en las barras debidas al piloto y al asiento en el ensayo 7 de la estructura 3.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
63 y 93	1970	(+/-) 100	330,2	66,32	10,79	31,51
65	1970	0	310,2	0	0	-1,931
115	1920	0	300,2	0	0	1,950
36	1835	0	290,7	0	0	-29,35
35	1515	0	255	0	0	1,010
99 y 103	1200	(+/-) 100	230	-68,88	7,469	-27,70
101	1200	0	220	0	0	6,258
129 y 133	800	(+/-) 180	270,2	0	0	30,57
114	800	0	230	0	0	-4,757
17 y 18	700	(+/-) 23,4	237	0	0	1,310
11 y 13	445	(+/-) 83	255	0	0	0
23	445	0	255	0	0	1,033
19 y 20	420	(+/-) 112	400,2	0	0	1,142
51 y 71	370	(+/-) 170	690	-1,626	4,917	9,686

Tabla 9.122. Cargas en las uniones debidas al piloto y al asiento en el ensayo 7 de la estructura 3.



Figura 9.113. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 7 de la estructura 3.

9.3.12. Ensayo 8:

Este ensayo, como el anterior, se corresponde con las pruebas de validación del sistema de frenado del prototipo definidas en el apartado 8.4.3. del presente proyecto y recogidas en la normativa, en concreto el presente ensayo corresponde a la prueba de frenado del eje trasero.

Las restricciones que se aplican en este ensayo son: bloqueo de todos los grados de libertad del punto de contacto de la rueda trasera con la calzada y el bloqueo de los desplazamientos verticales en los puntos de contacto de las ruedas delanteras con la calzada. En la Figura 9.114, se pueden apreciar dichas restricciones.

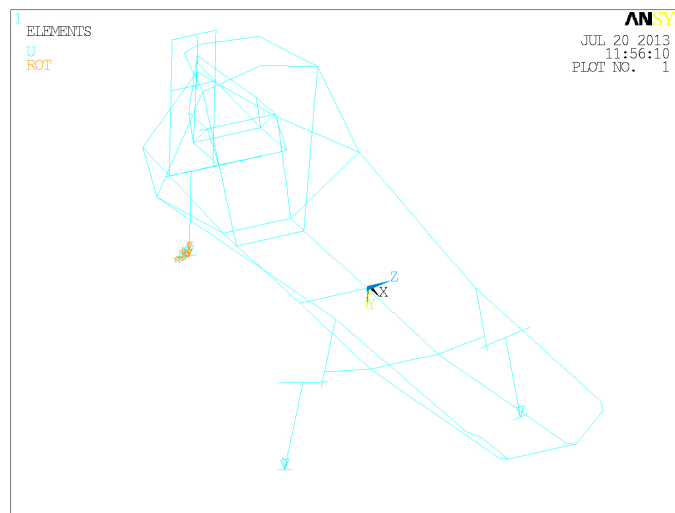


Figura 9.114. Restricciones al desplazamiento del ensayo 8.

La gravedad, como en el otro ensayo, hay que considerarla por componentes. En la Tabla 9.123 se recogen dichos valores.

Componente vertical (m/s^2)	Componente longitudinal (m/s^2)
9,62	1,92

Tabla 9.123. Componentes de la fuerza de la gravedad para el ensayo 8.

Las cargas a aplicar en el presente ensayo son: las debidas al peso del motor, del embrague, del extintor, de la carrocería, del piloto y del asiento. En la Tabla 9.124, se recogen las cargas debidas a los pesos del motor, del embrague y del extintor al ser tanto sus valores como sus puntos de aplicación independientes de la estructura analizada. Representándose en la Figura 9.115.

Elemento	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Carga vertical (N)	Carga longitudinal (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Motor en orden de marcha	33	49,5	32,36	6,47	269	-122	520
Transmisión	12	18	17,65	3,53	269	60,6	520
Extintor	21,5	32,25	31,62	6,32	370	0	260

Tabla 9.124. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 8.

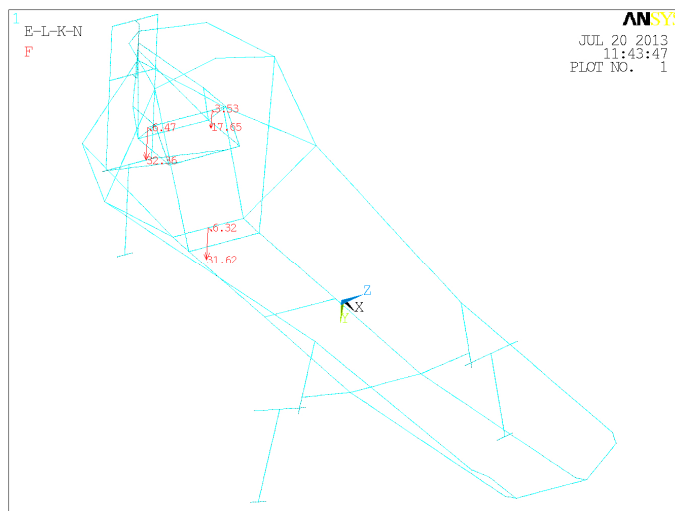


Figura 9.115. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.

En el caso del resto de cargas, al depender de la estructura analizada se especifican sus valores en los siguientes subapartados.

9.3.12.1. Cargas específicas del ensayo 8 para la estructura 1:

Las cargas debidas al peso de la carrocería, teniendo en cuenta que el modelo se encuentra sobre un plano inclinado, se recogen junto a las coordenadas de sus puntos de aplicación en la Tabla 9.125. En la Figura 9.116, se puede apreciar una representación de dichas cargas sobre la estructura 1.

Las cargas en las barras debidas al peso del piloto y del asiento, obtenidas según el procedimiento que se describe en el anexo VII, se recogen en la Tabla 9.126 y en la Tabla 9.127 se recopilan las cargas en las uniones debidas al peso del piloto y del asiento. Representándose dichas cargas, sobre la estructura 1, en la Figura 9.117.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Carga vertical (N)	Carga longitudinal (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	51,48	10,30	1970	180	410,2
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	51,48	10,30	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	1/6	35	52,5	51,48	10,30	1200	238	262
Soporte derecho eje	1/6	35	52,5	51,48	10,30	1200	-238	262
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	12,87	2,57	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	12,87	2,57	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	12,87	2,57	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	12,87	2,57	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	25,74	5,15	20	0	650

Tabla 9.125. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 8 de la estructura 1.

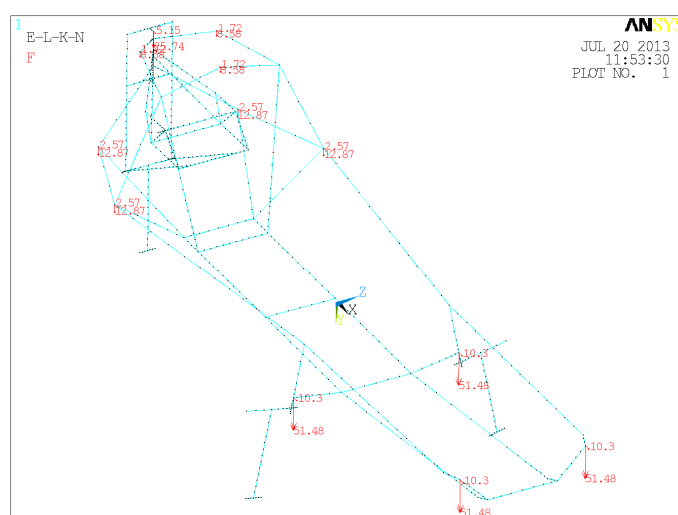


Figura 9.116. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
36 y 54	1970	1920	55	0	2	0
112 y 120	1920	1835	80	$2,043 \cdot 10^{-1}$	3	$5,107 \cdot 10^{-2}$
118 y 124	1835	1515	320	$1,224 \cdot 10^{-1}$	6	$1,748 \cdot 10^{-2}$
119 y 121	1515	1200	315	$2,673 \cdot 10^{-1}$	6	$3,818 \cdot 10^{-2}$
90 y 94	1200	800	385	$1,341 \cdot 10^{-1}$	12	$1,032 \cdot 10^{-2}$
122 y 123	800	700	115	$4,031 \cdot 10^{-2}$	2	$1,344 \cdot 10^{-2}$
113-126 y 114-127	700	445	240	$1,003 \cdot 10^{-1}$	9	$1,003 \cdot 10^{-2}$
110 y 111	445	436	824	$4,657 \cdot 10^{-3}$	2	$1,552 \cdot 10^{-3}$
106 y 107	436	420	16	$2,993 \cdot 10^{-1}$	3	$7,481 \cdot 10^{-2}$
115 y 125	420	370	35	$1,094 \cdot 10^{-1}$	6	$1,562 \cdot 10^{-2}$
32 y 50	1970	1970	100	0	6	0
63 y 108	1200	1200	100	$1,674 \cdot 10^{-1}$	2	$5,580 \cdot 10^{-2}$
68 y 109	800	800	100	$5,884 \cdot 10^{-1}$	2	$1,961 \cdot 10^{-1}$
45 y 104	445	445	100	$1,114 \cdot 10^{-2}$	7	$1,392 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.126. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 8 de la estructura 1.

Puntos	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga longitudinal (N)	Carga horizontal (N)	Carga vertical (N)
61 y 97	1970	(+/-) 100	330,2	6,488	14,94	2,372
69 y 105	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$9,076 \cdot 10^{-1}$
23 y 43	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$5,589 \cdot 10^{-1}$
41 y 42	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	1,117
67 y 103	1200	(+/-) 100	240	-11,40	22,15	8,700
135 y 136	800	(+/-) 100	250	0	0	21,91
39 y 40	700	(+/-) 100	252	0	0	2,340
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	3,806
31 y 33	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$3,818 \cdot 10^{-2}$
30 y 34	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$6,040 \cdot 10^{-1}$
73 y 109	370	(+/-) 170	690	$4,925 \cdot 10^{-2}$	1,931	$-6,884 \cdot 10^{-1}$
18	1970	0	250	0	0	$-5,545 \cdot 10^{-1}$
17	1200	0	240	0	0	-1,120
63	800	0	330,2	0	0	6,013
-	445	0	275	0	0	$-2,321 \cdot 10^{-1}$

Tabla 9.127. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 8 de la estructura 1.

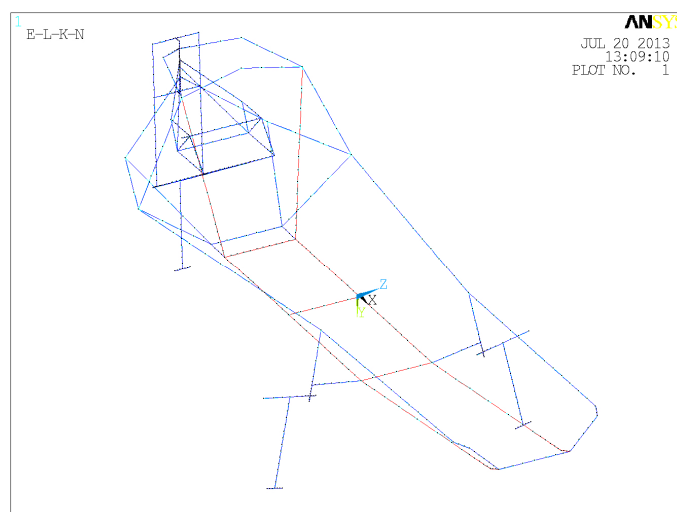


Figura 9.117. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 8 de la estructura 1.

9.3.12.2. Cargas específicas del ensayo 8 para la estructura 2:

En la Tabla 9.128, se recogen las cargas debidas al peso de la carrocería junto a las coordenadas de sus puntos de aplicación. Mostrándose una representación de dichas cargas sobre la estructura objeto de análisis en la Figura 9.118.

En la Tabla 9.129, se recogen las cargas en las barras debidas al peso del piloto y del asiento, obtenidas según el procedimiento detallado en el anexo VII. Las cargas en las uniones debidas al peso del piloto y el asiento se recogen en la Tabla 9.130. Aplicándose dichas cargas sobre la estructura 2 en las barras marcadas en color rojo en la Figura 9.119.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Carga vertical (N)	Carga longitudinal (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	51,48	10,30	1970	200	480
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	25,75	5,15	1970	-200	480
Soporte exterior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	25,75	5,15	1200	310	480
Soporte exterior derecho eje	1/12	17,5	26,25	25,75	5,15	1200	-310	480
Soporte interior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	25,75	5,15	1200	217	228
Soporte interior derecho eje	1/12	17,5	26,25	25,75	5,15	1200	-217	228
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	12,87	2,57	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	12,87	2,57	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	12,87	2,57	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	12,87	2,57	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	25,75	5,15	20	0	648

Tabla 9.128. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 8 de la estructura 2.

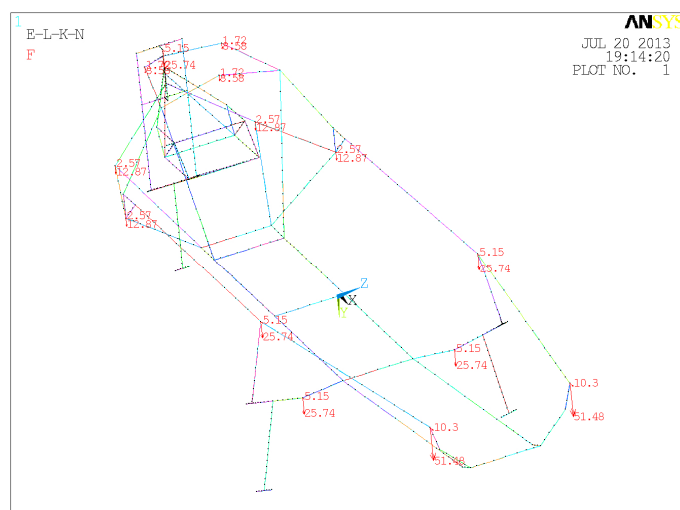


Figura 9.118. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
29 y 33	1970	1920	55	0	2	0
30 y 32	1920	1835	80	$2,062 \cdot 10^{-1}$	3	$5,156 \cdot 10^{-2}$
135 y 136	1835	1515	320	$1,313 \cdot 10^{-1}$	4	$2,626 \cdot 10^{-2}$
129 y 131	1515	1200	315	$2,583 \cdot 10^{-1}$	4	$5,166 \cdot 10^{-2}$
88 y 90	1200	800	385	$1,238 \cdot 10^{-1}$	11	$1,032 \cdot 10^{-2}$
133 y 134	800	700	115	$3,468 \cdot 10^{-2}$	2	$1,156 \cdot 10^{-2}$
127 y 128	700	445	240	$1,061 \cdot 10^{-1}$	9	$1,061 \cdot 10^{-2}$
28 y 32	445	436	824	$4,584 \cdot 10^{-3}$	2	$1,528 \cdot 10^{-3}$
113 y 114	436	420	16	$3,118 \cdot 10^{-1}$	3	$7,794 \cdot 10^{-2}$
76 y 110	420	370	35	$1,334 \cdot 10^{-1}$	6	$1,905 \cdot 10^{-2}$
45 y 73	1970	1970	100	0	6	0
55 y 89	1200	1200	100	$1,437 \cdot 10^{-1}$	2	$4,789 \cdot 10^{-2}$
34 y 111	800	800	100	$5,402 \cdot 10^{-1}$	2	$1,801 \cdot 10^{-1}$
109 y 115	445	445	100	$1,624 \cdot 10^{-2}$	3	$2,031 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.129. Cargas en las barras debidas al asiento y al piloto en el ensayo 8 de la estructura 2.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
57 y 65	1970	(+/-) 100	330,2	11,85	14,83	4,349
55 y 63	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$3,278 \cdot 10^{-1}$
50 y 56	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$5,778 \cdot 10^{-1}$
49 y 54	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$8,589 \cdot 10^{-1}$
53 y 61	1200	(+/-) 100	240	-17,29	50,36	6,069
67 y 68	800	(+/-) 100	250	0	0	21,96
44 y 47	700	(+/-) 100	252	0	0	2,235
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	3,768
27 y 28	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$5,589 \cdot 10^{-2}$
30 y 31	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$4,114 \cdot 10^{-1}$
71 y 75	370	(+/-) 170	690	$6,987 \cdot 10^{-1}$	$2,320 \cdot 10^{-1}$	-4,605
89	1970	0	250	0	0	$-5,599 \cdot 10^{-1}$
17	1200	0	240	0	0	$-6,658 \cdot 10^{-1}$
18	800	0	330,2	0	0	5,600
19	445	0	275	0	0	$-2,173 \cdot 10^{-2}$

Tabla 9.130. Cargas en las uniones debidas al asiento y al piloto en el ensayo 8 de la estructura 2.

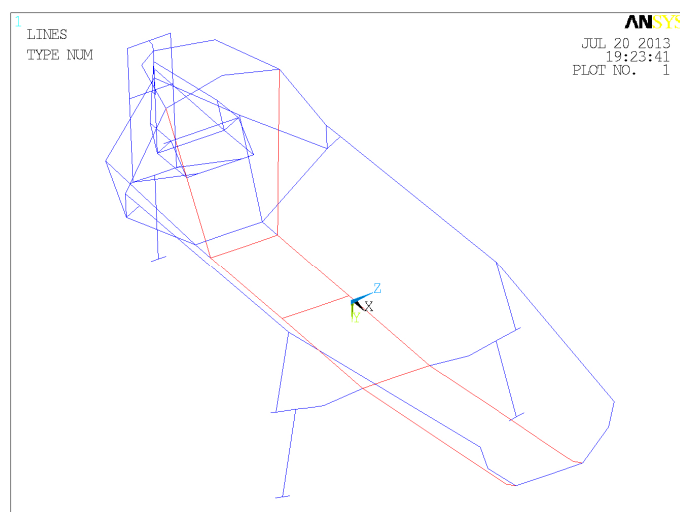


Figura 9.119. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 8 de la estructura 2.

9.3.12.3. Cargas específicas del ensayo 8 para la estructura 3:

La distribución de cargas debidas al peso de la carrocería, teniendo en cuenta que el modelo se encuentra sobre un plano inclinado, se recoge en la Tabla 9.131 junto a las coordenadas de los puntos de aplicación de cada carga. Apareciéndose una representación de dichas cargas en la Figura 9.120.

Las cargas debidas al piloto y al asiento, obtenidas como se detalla en el anexo VII, que se aplican sobre las barras se recogen en la Tabla 9.132, las que se aplican en las uniones en la Tabla 9.133 y todas se aplican sobre las barras marcadas en color rojo en la Figura 9.121.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Carga vertical (N)	Carga longitudinal (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	5/36	29,17	43,75	42,90	8,58	1970	180	410,2
Soporte delantero central	1/18	11,67	17,5	17,19	3,43	1970	0	310,2
Soporte delantero derecho	5/36	29,17	43,75	42,90	8,58	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	5/36	29,17	43,75	42,90	8,58	1200	238	262
Soporte central eje	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	1200	0	220
Soporte derecho eje	5/36	29,17	43,75	42,90	8,58	1200	-238	262
Soporte central travesaño	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	800	0	230
Soporte arco seguridad izquierdo	1/30	7	10,5	10,30	2,06	370	300	410,2
Soporte arco seguridad inferior	1/30	7	10,5	10,30	2,06	370	0	240
Soporte arco seguridad derecho	1/30	7	10,5	10,30	2,06	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/30	7	10,5	10,30	2,06	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/30	7	10,5	10,30	2,06	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	8,58	1,72	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	25,74	5,15	20	0	650

Tabla 9.131. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 8 de la estructura 3.

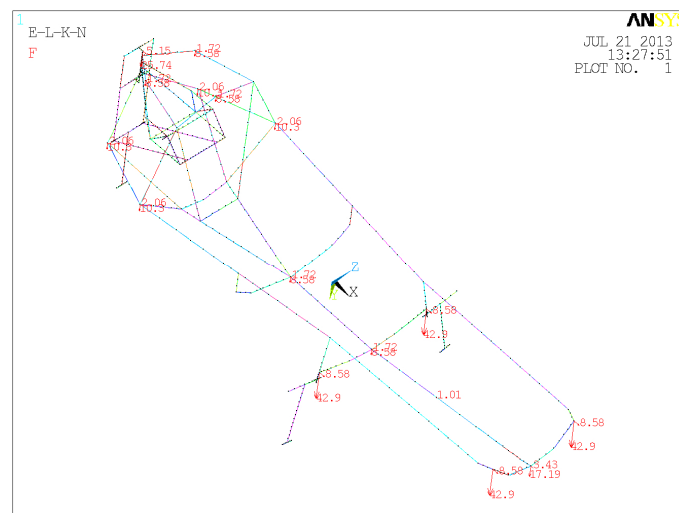


Figura 9.120. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
59	1970	1920	55	$4,273 \cdot 10^{-1}$	2	$1,424 \cdot 10^{-1}$
124	1920	1835	80	$3,962 \cdot 10^{-1}$	3	$9,905 \cdot 10^{-2}$
125	1835	1515	320	$4,047 \cdot 10^{-1}$	4	$8,095 \cdot 10^{-2}$
123	1515	1200	315	$4,294 \cdot 10^{-1}$	4	$8,589 \cdot 10^{-2}$
57	1200	800	385	$3,102 \cdot 10^{-2}$	11	$2,585 \cdot 10^{-3}$
113 y 114	800	700	115	$4,912 \cdot 10^{-3}$	2	$1,637 \cdot 10^{-3}$
31 y 58	700	445	240	$1,884 \cdot 10^{-1}$	8	$2,093 \cdot 10^{-2}$
61 y 111	445	420	824	$5,018 \cdot 10^{-3}$	3	$1,255 \cdot 10^{-3}$
115 y 116	420	370	16	$1,488 \cdot 10^{-1}$	5	$2,480 \cdot 10^{-2}$
33 y 48	1970	1970	100	$1,277 \cdot 10^{-2}$	3	$3,194 \cdot 10^{-3}$
51 y 52	1200	1200	100	0	2	0
66 y 67	800	800	100	$2,149 \cdot 10^{-1}$	5	$3,582 \cdot 10^{-2}$
108 y 109	445	445	100	$4,424 \cdot 10^{-2}$	2	$7,373 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.132. Cargas en las barras debidas al piloto y al asiento en el ensayo 8 de la estructura 3.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
63 y 93	1970	(+/-) 100	330,2	66,32	10,79	31,51
65	1970	0	310,2	0	0	-1,931
115	1920	0	300,2	0	0	1,950
36	1835	0	290,7	0	0	-29,35
35	1515	0	255	0	0	1,010
99 y 103	1200	(+/-) 100	230	-68,88	7,469	-27,70
101	1200	0	220	0	0	6,258
129 y 133	800	(+/-) 180	270,2	0	0	30,57
114	800	0	230	0	0	-4,757
17 y 18	700	(+/-) 23,4	237	0	0	1,310
11 y 13	445	(+/-) 83	255	0	0	0
23	445	0	255	0	0	1,033
19 y 20	420	(+/-) 112	400,2	0	0	1,142
51 y 71	370	(+/-) 170	690	-1,626	4,917	9,686

Tabla 9.133. Cargas en las uniones debidas al piloto y al asiento en el ensayo 8 de la estructura 3.

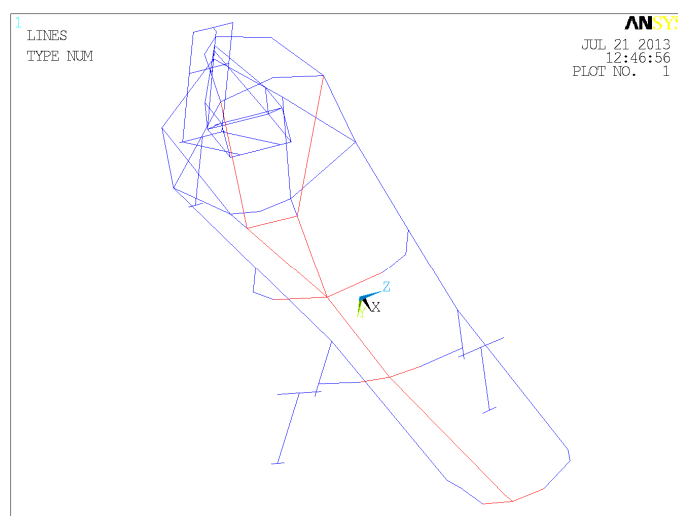


Figura 9.121. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento y del piloto para el ensayo 8 de la estructura 3.

9.3.13. Ensayo 9:

En este ensayo y el siguiente se analiza la situación de entrada y salida del piloto definida en el apartado 8.5.2 del presente proyecto, en concreto el momento más delicado que es cuando todo el peso del piloto descansa sobre el pie situado en el interior del prototipo. En este ensayo se considera que el piloto tiene apoyado dicho pie sobre el eje delantero.

Las restricciones a aplicar en este ensayo son: en el punto de contacto de la rueda trasera con la calzada se restringen los desplazamientos en los tres ejes, en el punto de contacto de la rueda delantera izquierda se restringen los desplazamientos lateral y vertical, y por último en el punto de contacto de la rueda delantera derecha se restringe el desplazamiento vertical. La representación

de dichas restricciones se realiza en la Figura 9.122 sobre el modelo de la estructura 1.0 al ser idénticas para las tres estructuras.

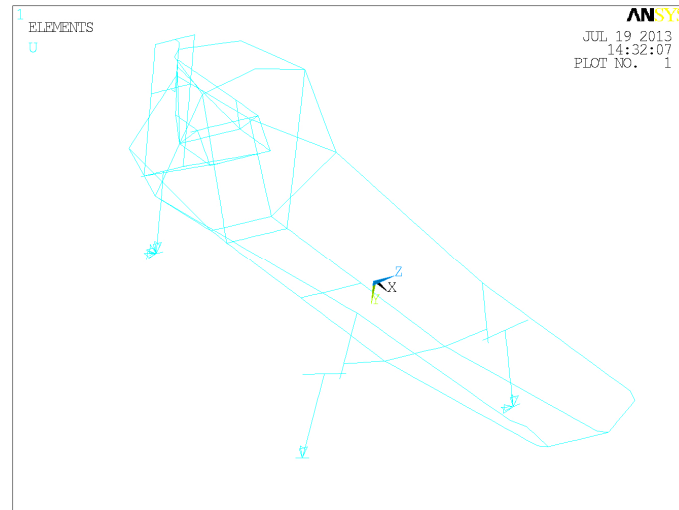


Figura 9.122. Restricciones al desplazamiento del ensayo 9.

Las cargas a aplicar en este ensayo son las debidas a los pesos del motor, del embrague, del extintor, de la carrocería, del asiento y del piloto. Al ser las cargas correspondientes al peso del motor, del embrague y del extintor independientes de la estructura objeto de análisis se representan estas cargas sobre la estructura 1 en la Figura 9.123. Recogiéndose en la Tabla 9.134, los valores correspondientes a los pesos del motor, del embrague y del extintor. En los siguientes subapartados se recogen, en función de la estructura analizada, los valores del resto de cargas junto a sus puntos de aplicación.

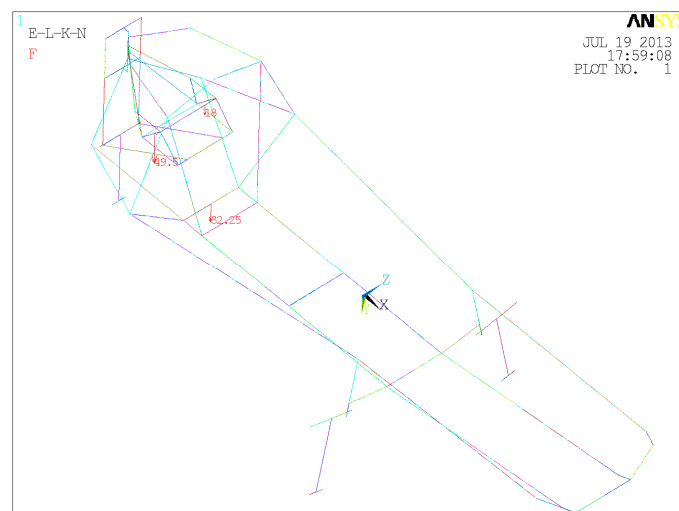


Figura 9.123. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.

Elemento	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Motor en orden de marcha	33	49,5	269	-122	520
Transmisión	12	18	269	60,6	520
Extintor	21,5	32,25	370	0	260

Tabla 9.134. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 9.

9.3.13.1. Cargas específicas del ensayo 9 para la estructura 1:

Las cargas debidas a la carrocería junto a sus puntos de aplicación se recogen en la Tabla 9.135 y se representan en la Figura 9.124.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	180	410,2
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	1/6	35	52,5	1200	238	262
Soporte derecho eje	1/6	35	52,5	1200	-238	262
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.135. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 9 de la estructura 1.

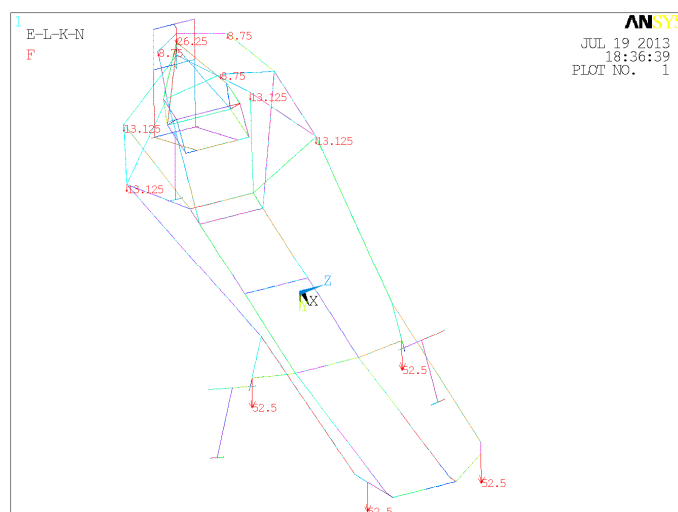


Figura 9.124. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.

La carga debida al peso del piloto junto a su punto de aplicación se recoge en la Tabla 9.136 y se representa en la Figura 9.125.

Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga (N)
1200	0	240	816

Tabla 9.136. Carga debida al peso del piloto para el ensayo 9 de la estructura 1.

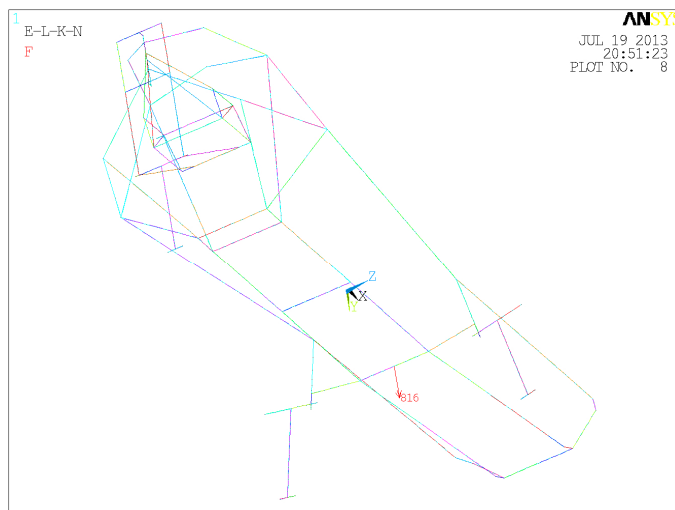


Figura 9.125. Representación de la carga debida al peso del piloto para el ensayo 9 de la estructura 1.

Las cargas debidas al peso del asiento, obtenidas en el anexo VII, en las barras se recogen en la Tabla 9.137, en las uniones en la Tabla 9.138 y se aplican en las barras rojas de la Figura 9.126.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
36 y 54	1970	1920	55	$8,914 \cdot 10^{-4}$	2	$2,971 \cdot 10^{-4}$
112 y 120	1920	1835	80	$1,973 \cdot 10^{-3}$	3	$4,932 \cdot 10^{-4}$
118 y 124	1835	1515	320	$4,720 \cdot 10^{-3}$	6	$6,744 \cdot 10^{-4}$
119 y 121	1515	1200	315	$5,242 \cdot 10^{-3}$	6	$7,488 \cdot 10^{-4}$
90 y 94	1200	800	385	$9,038 \cdot 10^{-3}$	12	$6,952 \cdot 10^{-4}$
122 y 123	800	700	115	$2,561 \cdot 10^{-3}$	2	$8,538 \cdot 10^{-4}$
113-126 y 114-127	700	445	240	$6,144 \cdot 10^{-3}$	9	$6,144 \cdot 10^{-4}$
110 y 111	445	436	824	$1,916 \cdot 10^{-4}$	2	$6,386 \cdot 10^{-5}$
106 y 107	436	420	16	$1,742 \cdot 10^{-2}$	3	$4,355 \cdot 10^{-3}$
115 y 125	420	370	35	$2,726 \cdot 10^{-2}$	6	$3,895 \cdot 10^{-3}$
32 y 50	1970	1970	100	$3,382 \cdot 10^{-4}$	6	$4,83 \cdot 10^{-5}$
63 y 108	1200	1200	100	$6,547 \cdot 10^{-3}$	11	$5,456 \cdot 10^{-4}$
68 y 109	800	800	100	$1,400 \cdot 10^{-2}$	10	$1,273 \cdot 10^{-3}$
45 y 104	445	445	100	$2,043 \cdot 10^{-3}$	3	$2,554 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.137. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 9 de la estructura 1.

Puntos	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga longitudinal (N)	Carga horizontal (N)	Carga vertical (N)
61 y 97	1970	(+/-) 100	330,2	$3,2942 \cdot 10^{-1}$	1,1216	$1,0833 \cdot 10^{-1}$
69 y 105	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$6,6296 \cdot 10^{-2}$
23 y 43	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,1018 \cdot 10^{-2}$
41 y 42	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$4,4504 \cdot 10^{-2}$
67 y 103	1200	(+/-) 100	240	$-2,1145 \cdot 10^{-1}$	$6,2186 \cdot 10^{-1}$	$3,1326 \cdot 10^{-1}$
135 y 136	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,0852 \cdot 10^{-1}$
39 y 40	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,6369 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,5674 \cdot 10^{-1}$
31 y 33	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,3311 \cdot 10^{-3}$
30 y 34	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,2117 \cdot 10^{-2}$
73 y 109	370	(+/-) 170	690	$-1,1797 \cdot 10^{-1}$	$5,9344 \cdot 10^{-1}$	$5,4122 \cdot 10^{-1}$
18	1970	0	250	0	0	$-3,9251 \cdot 10^{-2}$
17	1200	0	240	0	0	$-9,6584 \cdot 10^{-2}$
63	800	0	330,2	0	0	$1,1887 \cdot 10^{-1}$
-	445	0	275	0	0	$5,4299 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.138. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 9 de la estructura 1.

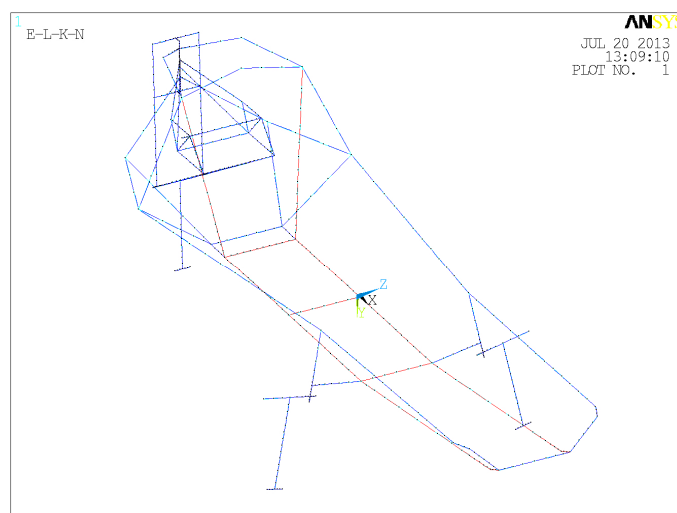


Figura 9.126. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 9 de la estructura 1.

9.3.13.2. Cargas específicas del ensayo 9 para la estructura 2:

En la Tabla 9.139, se recoge la carga debida al peso del piloto junto a su punto de aplicación, representándose en la Figura 9.127.

Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga (N)
1200	0	240	816

Tabla 9.139. Carga junto a su punto de aplicación correspondiente al piloto para el ensayo 9 de la estructura 2.

En la Tabla 9.140, se recogen las cargas debidas a la carrocería junto a sus puntos de aplicación. Realizándose una representación de dichas cargas, sobre la estructura 2, en la Figura 9.128.

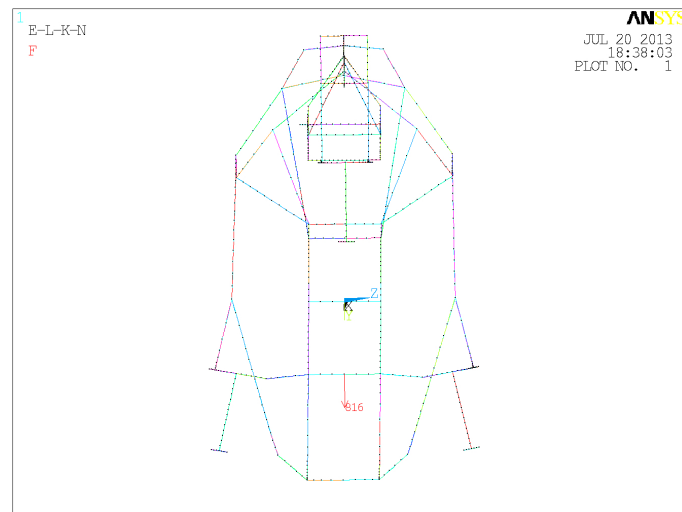


Figura 9.127. Representación de la carga debida al peso del piloto para el ensayo 9 de la estructura 2.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	200	480
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-200	480
Soporte exterior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	310	480
Soporte exterior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-310	480
Soporte interior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	217	228
Soporte interior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-217	228
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	648

Tabla 9.140. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 9 de la estructura 2.

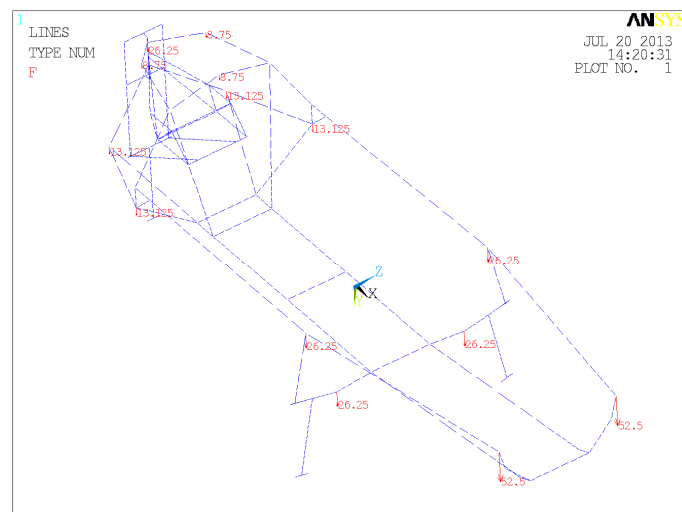


Figura 9.128. Representación de los puntos de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.

Las cargas debidas al asiento, obtenidas en el anexo VII, se clasifican en cargas distribuidas en la Tabla 9.141 y puntuales en la Tabla 9.142. Aplicándose sobre las barras rojas de la Figura 9.129.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
29 y 33	1970	1920	55	$9,018 \cdot 10^{-4}$	2	$3,006 \cdot 10^{-4}$
30 y 32	1920	1835	80	$1,961 \cdot 10^{-3}$	3	$4,903 \cdot 10^{-4}$
135 y 136	1835	1515	320	$6,315 \cdot 10^{-3}$	4	$1,263 \cdot 10^{-3}$
129 y 131	1515	1200	315	$6,873 \cdot 10^{-3}$	4	$1,375 \cdot 10^{-3}$
88 y 90	1200	800	385	$8,504 \cdot 10^{-3}$	11	$7,087 \cdot 10^{-4}$
133 y 134	800	700	115	$2,544 \cdot 10^{-3}$	2	$8,480 \cdot 10^{-4}$
127 y 128	700	445	240	$6,152 \cdot 10^{-3}$	9	$6,152 \cdot 10^{-4}$
28 y 32	445	436	824	$1,993 \cdot 10^{-4}$	2	$6,645 \cdot 10^{-5}$
113 y 114	436	420	16	$1,830 \cdot 10^{-2}$	3	$4,574 \cdot 10^{-3}$
76 y 110	420	370	35	$2,766 \cdot 10^{-2}$	6	$3,951 \cdot 10^{-3}$
45 y 73	1970	1970	100	$3,072 \cdot 10^{-4}$	6	$4,389 \cdot 10^{-5}$
55 y 89	1200	1200	100	$4,787 \cdot 10^{-3}$	2	$1,596 \cdot 10^{-3}$
34 y 111	800	800	100	$1,301 \cdot 10^{-2}$	2	$4,338 \cdot 10^{-3}$
109 y 115	445	445	100	$2,598 \cdot 10^{-3}$	3	$3,248 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.141. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 9 de la estructura 2.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
57 y 65	1970	(+/-) 100	330,2	$6,022 \cdot 10^{-1}$	1,115	$2,090 \cdot 10^{-1}$
55 y 63	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$9,163 \cdot 10^{-2}$
50 y 56	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,258 \cdot 10^{-2}$
49 y 54	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$3,887 \cdot 10^{-2}$
53 y 61	1200	(+/-) 100	240	$-5,041 \cdot 10^{-1}$	1,033	$1,606 \cdot 10^{-1}$
67 y 68	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,112 \cdot 10^{-1}$
44 y 47	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,461 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,596 \cdot 10^{-1}$
27 y 28	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,640 \cdot 10^{-3}$
30 y 31	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,267 \cdot 10^{-2}$
71 y 75	370	(+/-) 170	690	$-9,817 \cdot 10^{-2}$	$5,453 \cdot 10^{-1}$	$4,218 \cdot 10^{-1}$
89	1970	0	250	0	0	0
17	1200	0	240	0	0	$-1,007 \cdot 10^{-1}$
18	800	0	330,2	0	0	$1,119 \cdot 10^{-1}$
19	445	0	275	0	0	$1,084 \cdot 10^{-2}$

Tabla 9.142. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 9 de la estructura 2.

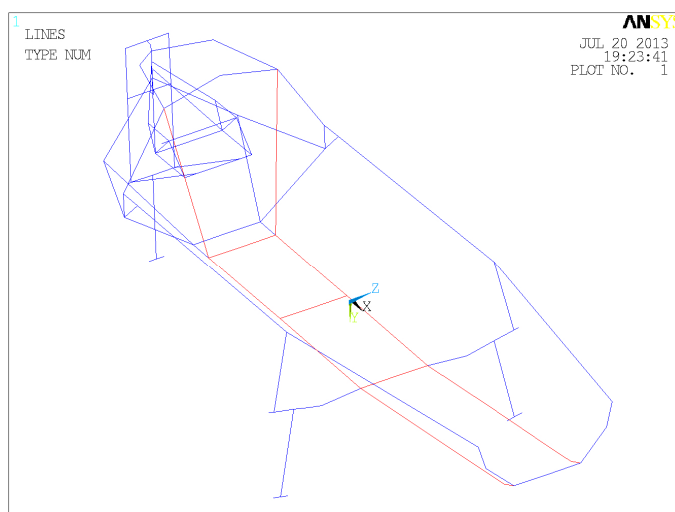


Figura 9.129. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 9 de la estructura 2.

9.3.13.3. Cargas específicas del ensayo 9 para la estructura 3:

Las cargas debidas a la carrocería junto a sus puntos de aplicación se recogen en la Tabla 9.143. En la Figura 9.130, se puede apreciar una representación de dichas cargas sobre la estructura 3.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	5/36	29,17	43,75	1970	180	410,2
Soporte delantero central	1/18	11,67	17,5	1970	0	310,2
Soporte delantero derecho	5/36	29,17	43,75	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	5/36	29,17	43,75	1200	238	262
Soporte central eje	1/36	5,84	8,75	1200	0	220
Soporte derecho eje	5/36	29,17	43,75	1200	-238	262
Soporte central travesaño	1/36	5,84	8,75	800	0	230
Soporte arco seguridad izquierdo	1/30	7	10,5	370	300	410,2
Soporte arco seguridad inferior	1/30	7	10,5	370	0	240
Soporte arco seguridad derecho	1/30	7	10,5	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/30	7	10,5	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/30	7	10,5	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.143. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 9 de la estructura 3.

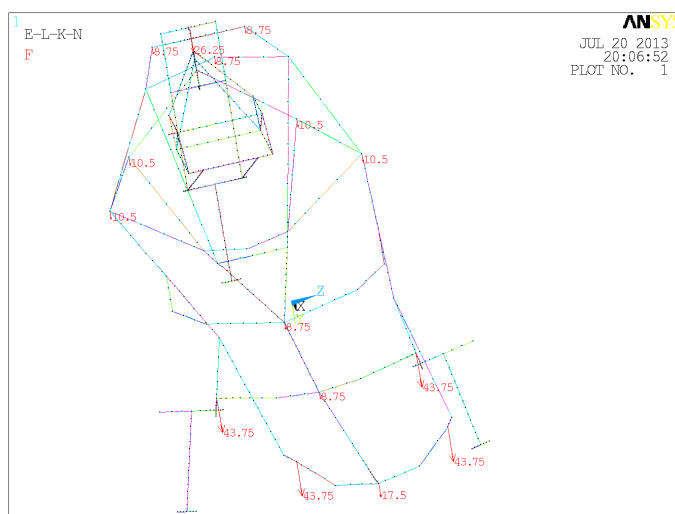


Figura 9.130. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.

Las coordenadas del punto de aplicación de la carga debida al peso del piloto junto al valor de dicho peso se recogen en la Tabla 9.144.

Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga (N)
1200	0	220	816

Tabla 9.144. Carga junto a su punto de aplicación correspondiente al piloto para el ensayo 9 de la estructura 3.

Mostrándose una representación de la aplicación de dicha carga sobre la estructura en la Figura 9.131.

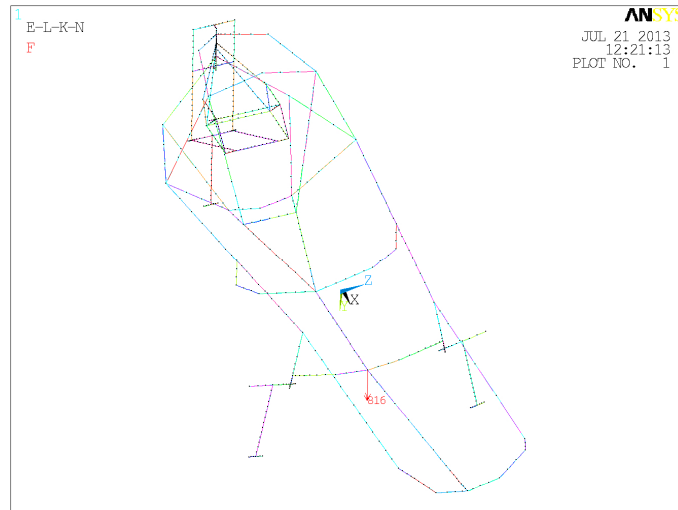


Figura 9.131. Representación de la carga debida al peso del piloto para el ensayo 9 de la estructura 3.

Las cargas debidas al peso del asiento, obtenidas según el procedimiento recogido en el anexo VII, se aplican sobre las barras de color rojo de la Figura 9.132. Clasificándose en cargas distribuidas sobre las barras y cargas puntuales aplicadas en las uniones de las barras. Las cargas transmitidas a las barras debidas al peso del asiento se recogen en la Tabla 9.145 y las cargas en las uniones de las barras junto a las coordenadas de sus puntos de aplicación se recogen en la Tabla 9.146.

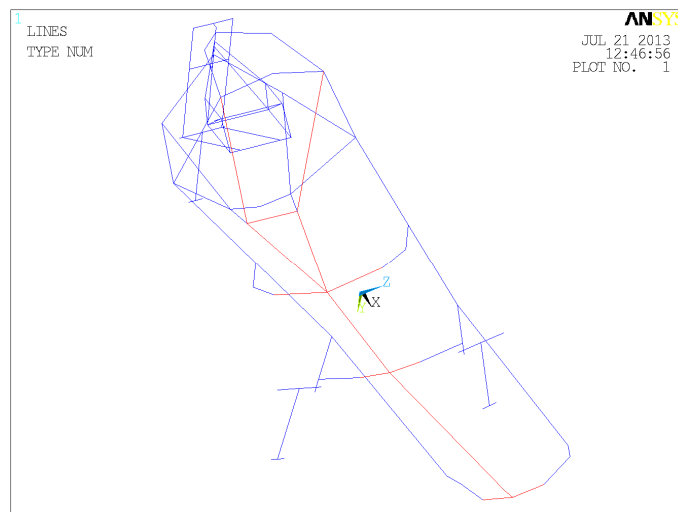


Figura 9.132. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 9 de la estructura 3.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza por nodo (N)
59	1970	1920	55	$1,050 \cdot 10^{-2}$	2	$3,500 \cdot 10^{-3}$
124	1920	1835	80	$9,591 \cdot 10^{-3}$	3	$2,398 \cdot 10^{-3}$
125	1835	1515	320	$1,303 \cdot 10^{-2}$	4	$2,607 \cdot 10^{-3}$
123	1515	1200	315	$9,111 \cdot 10^{-3}$	4	$1,822 \cdot 10^{-3}$
57	1200	800	385	$4,502 \cdot 10^{-3}$	11	$3,752 \cdot 10^{-4}$
113 y 114	800	700	115	$2,346 \cdot 10^{-3}$	2	$7,821 \cdot 10^{-4}$
31 y 58	700	445	240	$9,653 \cdot 10^{-3}$	8	$1,073 \cdot 10^{-3}$
61 y 111	445	420	824	$5,034 \cdot 10^{-4}$	3	$1,258 \cdot 10^{-4}$
115 y 116	420	370	16	$6,917 \cdot 10^{-2}$	5	$1,153 \cdot 10^{-2}$
33 y 48	1970	1970	100	$5,374 \cdot 10^{-4}$	3	$1,344 \cdot 10^{-4}$
51 y 52	1200	1200	100	0	2	0
66 y 67	800	800	100	$1,089 \cdot 10^{-2}$	5	$1,815 \cdot 10^{-3}$
108 y 109	445	445	100	$4,460 \cdot 10^{-3}$	2	$7,434 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.145. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 9 de la estructura 3.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
63 y 93	1970	(+/-) 100	330,2	1,6190	$2,269 \cdot 10^{-1}$	$8,228 \cdot 10^{-1}$
65	1970	0	310,2	0	0	$-1,972 \cdot 10^{-2}$
115	1920	0	300,2	0	0	$3,519 \cdot 10^{-2}$
36	1835	0	290,7	0	0	$-6,876 \cdot 10^{-1}$
35	1515	0	255	0	0	$1,817 \cdot 10^{-2}$
99 y 103	1200	(+/-) 100	230	-1,517	2,986	$7,135 \cdot 10^{-1}$
101	1200	0	220	0	0	$1,174 \cdot 10^{-1}$
129 y 133	800	(+/-) 180	270,2	0	0	$6,066 \cdot 10^{-1}$
114	800	0	230	0	0	$-9,370 \cdot 10^{-3}$
17 y 18	700	(+/-) 23,4	237	0	0	$4,756 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 83	255	0	0	$-2,739 \cdot 10^{-2}$
23	445	0	255	0	0	$5,366 \cdot 10^{-2}$
19 y 20	420	(+/-) 112	400,2	0	0	$1,340 \cdot 10^{-1}$
51 y 71	370	(+/-) 170	690	$-1,022 \cdot 10^{-1}$	$4,865 \cdot 10^{-1}$	$5,167 \cdot 10^{-1}$

Tabla 9.146. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 9 de la estructura 3.

9.3.14. Ensayo 9b:

Este ensayo como el precedente analiza la resistencia de la estructura durante la entrada y salida del piloto del prototipo como se definió en el apartado 8.5.2. del presente proyecto. En este caso el piloto estará apoyado en el travesaño situado entre el eje y el arco de seguridad.

Las restricciones aplicadas son: en el punto de contacto de la rueda trasera con la calzada se restringen los desplazamientos en los tres ejes, en el punto de contacto de la rueda delantera izquierda se restringen los desplazamientos lateral y vertical, y por último en el punto de contacto de la rueda delantera derecha se restringe el desplazamiento vertical. En la Figura 9.133, se pueden apreciar dichas restricciones sobre el modelo de la estructura 1.0 al ser idénticas para las tres estructuras.

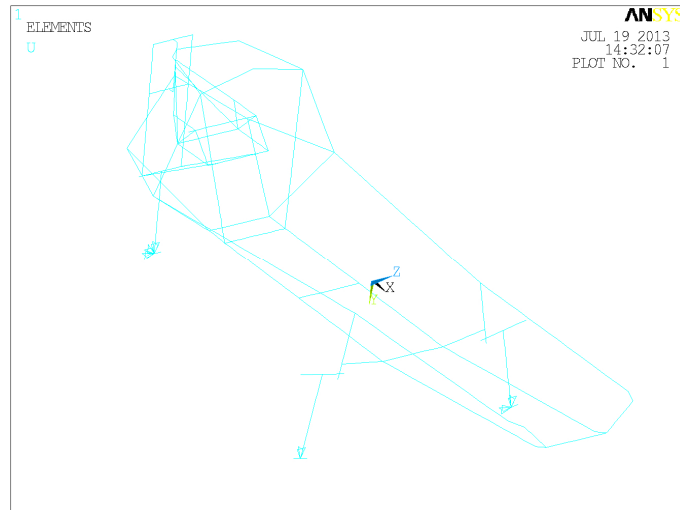


Figura 9.133. Restricciones al desplazamiento del ensayo 9b.

Las cargas aplicadas son las debidas a los pesos del motor, del embrague, del extintor, de la carrocería, del asiento y del piloto. Recogiéndose en la Tabla 9.147, las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor junto a sus puntos de aplicación debido a que ni estas cargas ni sus puntos de aplicación dependen de la estructura analizada. En la Figura 9.134, se pueden apreciar las cargas debidas al motor, al embrague y al extintor.

Elemento	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Motor en orden de marcha	33	49,5	269	-122	520
Transmisión	12	18	269	60,6	520
Extintor	21,5	32,25	370	0	260

Tabla 9.147. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para el ensayo 9b.

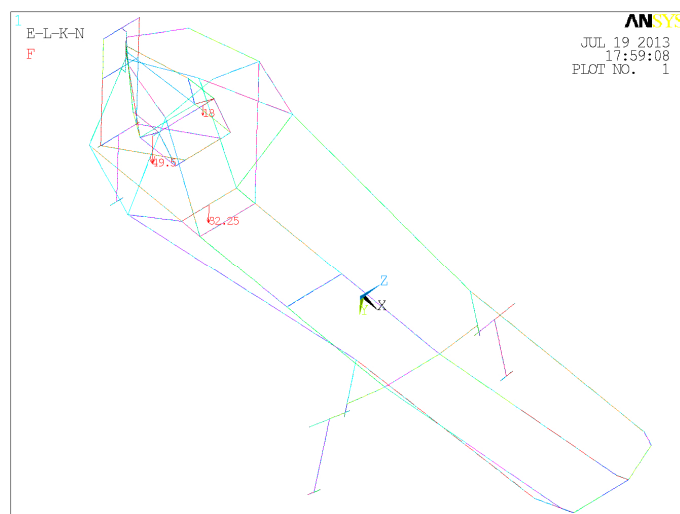


Figura 9.134. Representación de las cargas correspondientes al motor, el embrague y el extintor para la estructura 1.

El resto de cargas se especifican en los siguientes subapartados al depender de la estructura objeto de análisis.

9.3.14.1. Cargas específicas del ensayo 9b para la estructura 1:

Las cargas debidas al peso de la carrocería se recogen en la Tabla 9.148, junto a las coordenadas de sus puntos de aplicación. Y en la Figura 9.135 se representan sobre la estructura.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	180	410,2
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	1/6	35	52,5	1200	238	262
Soporte derecho eje	1/6	35	52,5	1200	-238	262
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.148. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 9b de la estructura 1.

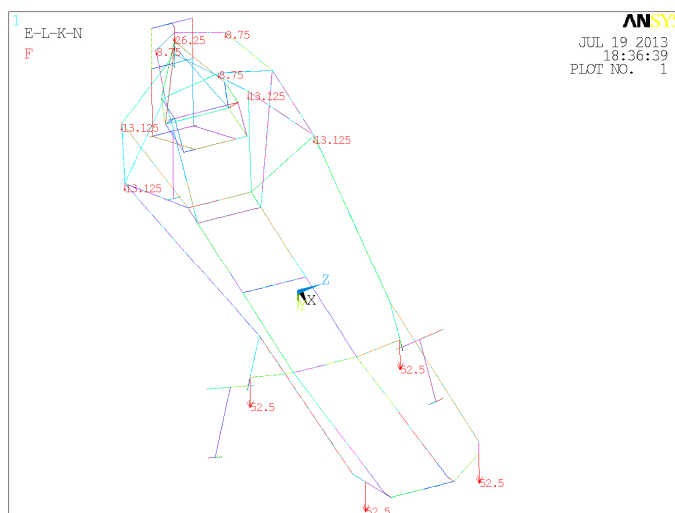


Figura 9.135. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 1.

Las cargas sobre las barras de la estructura debidas al asiento, obtenidas en el anexo VII, se recogen en la Tabla 9.149. En la Tabla 9.150 se recogen las cargas en las uniones debidas al asiento. Representándose en la Figura 9.136, las barras sobre las que se aplican las cargas antes mencionadas.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
36 y 54	1970	1920	55	$8,914 \cdot 10^{-4}$	2	$2,971 \cdot 10^{-4}$
112 y 120	1920	1835	80	$1,973 \cdot 10^{-3}$	3	$4,932 \cdot 10^{-4}$
118 y 124	1835	1515	320	$4,720 \cdot 10^{-3}$	6	$6,744 \cdot 10^{-4}$
119 y 121	1515	1200	315	$5,242 \cdot 10^{-3}$	6	$7,488 \cdot 10^{-4}$
90 y 94	1200	800	385	$9,038 \cdot 10^{-3}$	12	$6,952 \cdot 10^{-4}$
122 y 123	800	700	115	$2,561 \cdot 10^{-3}$	2	$8,538 \cdot 10^{-4}$
113-126 y 114-127	700	445	240	$6,144 \cdot 10^{-3}$	9	$6,144 \cdot 10^{-4}$
110 y 111	445	436	824	$1,916 \cdot 10^{-4}$	2	$6,386 \cdot 10^{-5}$
106 y 107	436	420	16	$1,742 \cdot 10^{-2}$	3	$4,355 \cdot 10^{-3}$
115 y 125	420	370	35	$2,726 \cdot 10^{-2}$	6	$3,895 \cdot 10^{-3}$
32 y 50	1970	1970	100	$3,382 \cdot 10^{-4}$	6	$4,83 \cdot 10^{-5}$
63 y 108	1200	1200	100	$6,547 \cdot 10^{-3}$	11	$5,456 \cdot 10^{-4}$
68 y 109	800	800	100	$1,400 \cdot 10^{-2}$	10	$1,273 \cdot 10^{-3}$
45 y 104	445	445	100	$2,043 \cdot 10^{-3}$	3	$2,554 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.149. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 9b de la estructura 1.

Puntos	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga longitudinal (N)	Carga horizontal (N)	Carga vertical (N)
61 y 97	1970	(+/-) 100	330,2	$3,2942 \cdot 10^{-1}$	1,1216	$1,0833 \cdot 10^{-1}$
69 y 105	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$6,6296 \cdot 10^{-2}$
23 y 43	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,1018 \cdot 10^{-2}$
41 y 42	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$4,4504 \cdot 10^{-2}$
67 y 103	1200	(+/-) 100	240	$-2,1145 \cdot 10^{-1}$	$6,2186 \cdot 10^{-1}$	$3,1326 \cdot 10^{-1}$
135 y 136	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,0852 \cdot 10^{-1}$
39 y 40	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,6369 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,5674 \cdot 10^{-1}$
31 y 33	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,3311 \cdot 10^{-3}$
30 y 34	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,2117 \cdot 10^{-2}$
73 y 109	370	(+/-) 170	690	$-1,1797 \cdot 10^{-1}$	$5,9344 \cdot 10^{-1}$	$5,4122 \cdot 10^{-1}$
18	1970	0	250	0	0	$-3,9251 \cdot 10^{-2}$
17	1200	0	240	0	0	$-9,6584 \cdot 10^{-2}$
63	800	0	330,2	0	0	$1,1887 \cdot 10^{-1}$
-	445	0	275	0	0	$5,4299 \cdot 10^{-3}$

Tabla 9.150. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 9b de la estructura 1.

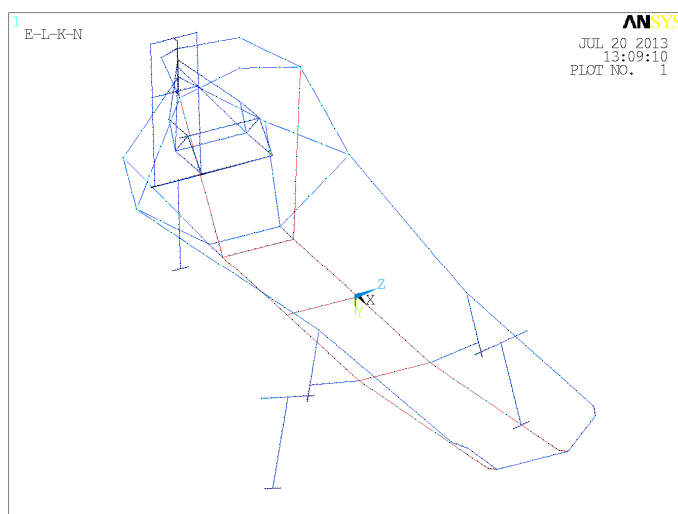


Figura 9.136. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 9b de la estructura 1.

La carga debida al peso del piloto junto a las coordenadas de su punto de aplicación se recoge en la Tabla 9.151 y se representa en la Figura 9.137, aplicada en la estructura 1.

Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga (N)
800	0	330,2	816

Tabla 9.151. Carga junto a su punto de aplicación correspondiente al piloto para el ensayo 9b de la estructura 1.



Figura 9.137. Representación de la carga debida al peso del piloto para el ensayo 9b de la estructura 1.

9.3.14.2. Cargas específicas del ensayo 9b para la estructura 2:

Las cargas debidas a la carrocería del prototipo se pueden apreciar sobre la estructura en la Figura 9.138 y sus valores se recogen en la Tabla 9.152.

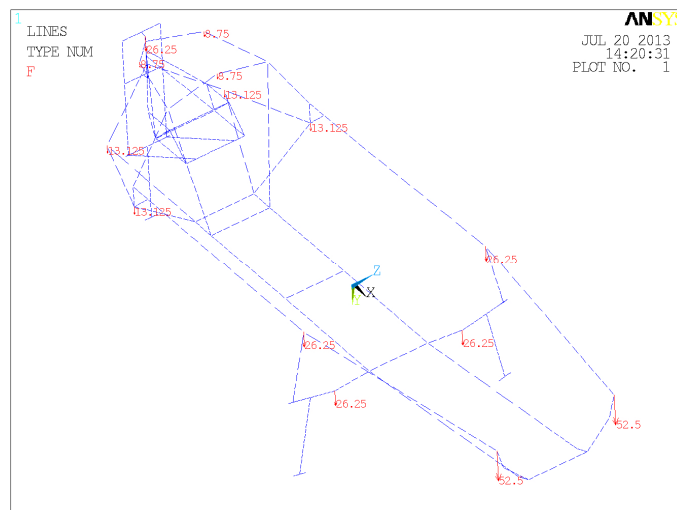


Figura 9.138. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 2.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	1/6	35	52,5	1970	200	480
Soporte delantero derecho	1/6	35	52,5	1970	-200	480
Soporte exterior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	310	480
Soporte exterior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-310	480
Soporte interior izquierdo eje	1/12	17,5	26,25	1200	217	228
Soporte interior derecho eje	1/12	17,5	26,25	1200	-217	228
Soporte arco seguridad izquierdo	1/24	8,75	13,125	370	300	410,2
Soporte arco seguridad derecho	1/24	8,75	13,125	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/24	8,75	13,125	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/24	8,75	13,125	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	648

Tabla 9.152. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 9b de la estructura 2.

En la Tabla 9.153, se recoge la carga debida al peso del piloto junto a las coordenadas de su punto de aplicación. Representándose en la Figura 9.139.

Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga (N)
800	0	330,2	816

Tabla 9.153. Carga junto a su punto de aplicación correspondiente al piloto para el ensayo 9b de la estructura 2.

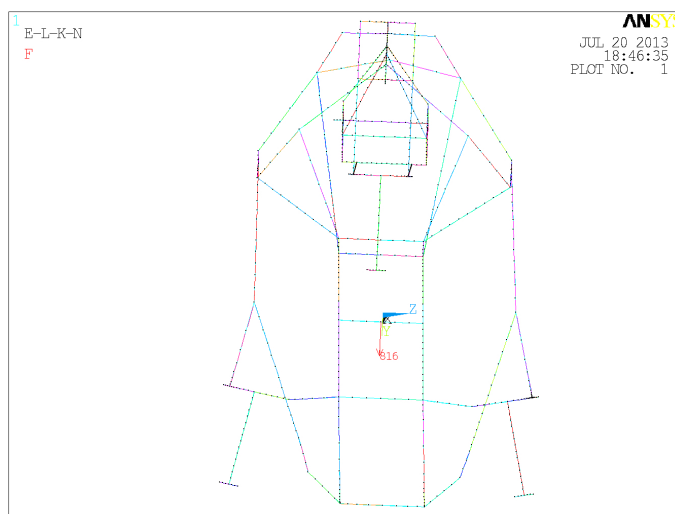


Figura 9.139. Representación de la carga debida al peso del piloto para el ensayo 9b de la estructura 2.

Las cargas debidas al peso del asiento, determinadas según el procedimiento recogido en el anexo VII, se clasifican en cargas distribuidas y en cargas puntuales. En la Tabla 9.154, se recogen las cargas distribuidas en las barras debidas al asiento y las cargas en las uniones de las barras se recogen en la Tabla 9.155. Aplicándose dichas cargas sobre las barras marcadas en color rojo en la Figura 9.140.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
29 y 33	1970	1920	55	$9,018 \cdot 10^{-4}$	2	$3,006 \cdot 10^{-4}$
30 y 32	1920	1835	80	$1,961 \cdot 10^{-3}$	3	$4,903 \cdot 10^{-4}$
135 y 136	1835	1515	320	$6,315 \cdot 10^{-3}$	4	$1,263 \cdot 10^{-3}$
129 y 131	1515	1200	315	$6,873 \cdot 10^{-3}$	4	$1,375 \cdot 10^{-3}$
88 y 90	1200	800	385	$8,504 \cdot 10^{-3}$	11	$7,087 \cdot 10^{-4}$
133 y 134	800	700	115	$2,544 \cdot 10^{-3}$	2	$8,480 \cdot 10^{-4}$
127 y 128	700	445	240	$6,152 \cdot 10^{-3}$	9	$6,152 \cdot 10^{-4}$
28 y 32	445	436	824	$1,993 \cdot 10^{-4}$	2	$6,645 \cdot 10^{-5}$
113 y 114	436	420	16	$1,830 \cdot 10^{-2}$	3	$4,574 \cdot 10^{-3}$
76 y 110	420	370	35	$2,766 \cdot 10^{-2}$	6	$3,951 \cdot 10^{-3}$
45 y 73	1970	1970	100	$3,072 \cdot 10^{-4}$	6	$4,389 \cdot 10^{-5}$
55 y 89	1200	1200	100	$4,787 \cdot 10^{-3}$	2	$1,596 \cdot 10^{-3}$
34 y 111	800	800	100	$1,301 \cdot 10^{-2}$	2	$4,338 \cdot 10^{-3}$
109 y 115	445	445	100	$2,598 \cdot 10^{-3}$	3	$3,248 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.154. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 9b de la estructura 2.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
57 y 65	1970	(+/-) 100	330,2	$6,022 \cdot 10^{-1}$	1,115	$2,090 \cdot 10^{-1}$
55 y 63	1920	(+/-) 100	310,2	0	0	$9,163 \cdot 10^{-2}$
50 y 56	1835	(+/-) 100	301,9	0	0	$2,258 \cdot 10^{-2}$
49 y 54	1515	(+/-) 100	270,8	0	0	$3,887 \cdot 10^{-2}$
53 y 61	1200	(+/-) 100	240	$-5,041 \cdot 10^{-1}$	1,033	$1,606 \cdot 10^{-1}$
67 y 68	800	(+/-) 100	250	0	0	$5,112 \cdot 10^{-1}$
44 y 47	700	(+/-) 100	252	0	0	$6,461 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 100	257	0	0	$1,596 \cdot 10^{-1}$
27 y 28	436	(+/-) 108	309,1	0	0	$9,640 \cdot 10^{-3}$
30 y 31	420	(+/-) 123	401,5	0	0	$5,267 \cdot 10^{-2}$
71 y 75	370	(+/-) 170	690	$-9,817 \cdot 10^{-2}$	$5,453 \cdot 10^{-1}$	$4,218 \cdot 10^{-1}$
89	1970	0	250	0	0	0
17	1200	0	240	0	0	$-1,007 \cdot 10^{-1}$
18	800	0	330,2	0	0	$1,119 \cdot 10^{-1}$
19	445	0	275	0	0	$1,084 \cdot 10^{-2}$

Tabla 9.155. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 9b de la estructura 2.

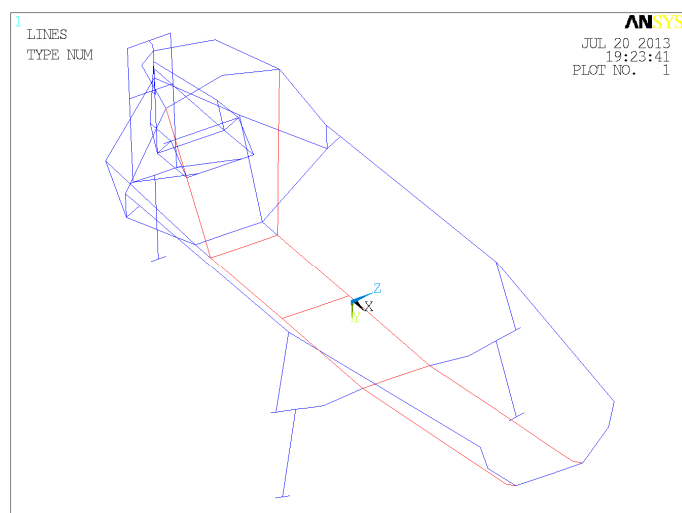


Figura 9.140. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 9b de la estructura 2.

9.3.14.3. Cargas específicas del ensayo 9b para la estructura 3:

La distribución de cargas debida al peso de la carrocería se recoge en la Tabla 9.156, junto a las coordenadas de sus puntos de aplicación.

	Fracción de la carrocería	Peso (N)	Peso mayorado (N)	Coordenada x del punto de aplicación (mm)	Coordenada y del punto de aplicación (mm)	Coordenada z del punto de aplicación (mm)
Carrocería	1	210	315	-	-	-
Soporte delantero izquierdo	5/36	29,17	43,75	1970	180	410,2
Soporte delantero central	1/18	11,67	17,5	1970	0	310,2
Soporte delantero derecho	5/36	29,17	43,75	1970	-180	410,2
Soporte izquierdo eje	5/36	29,17	43,75	1200	238	262
Soporte central eje	1/36	5,84	8,75	1200	0	220
Soporte derecho eje	5/36	29,17	43,75	1200	-238	262
Soporte central travesaño	1/36	5,84	8,75	800	0	230
Soporte arco seguridad izquierdo	1/30	7	10,5	370	300	410,2
Soporte arco seguridad inferior	1/30	7	10,5	370	0	240
Soporte arco seguridad derecho	1/30	7	10,5	370	-300	410,2
Soporte trasero inferior izquierdo	1/30	7	10,5	100	200	410,2
Soporte trasero inferior derecho	1/30	7	10,5	100	-200	410,2
Soporte arco seguridad superior	1/36	5,84	8,75	370	0	730
Soporte trasero superior izquierdo	1/36	5,84	8,75	150	110	690
Soporte trasero superior derecho	1/36	5,84	8,75	150	-110	690
Soporte trasero central	1/12	17,5	26,25	20	0	650

Tabla 9.156. Pesos y punto de aplicación de las cargas correspondientes a la carrocería del prototipo para el ensayo 9b de la estructura 3.

La representación de dichas cargas, sobre la estructura 3, se puede apreciar en la Figura 9.141.

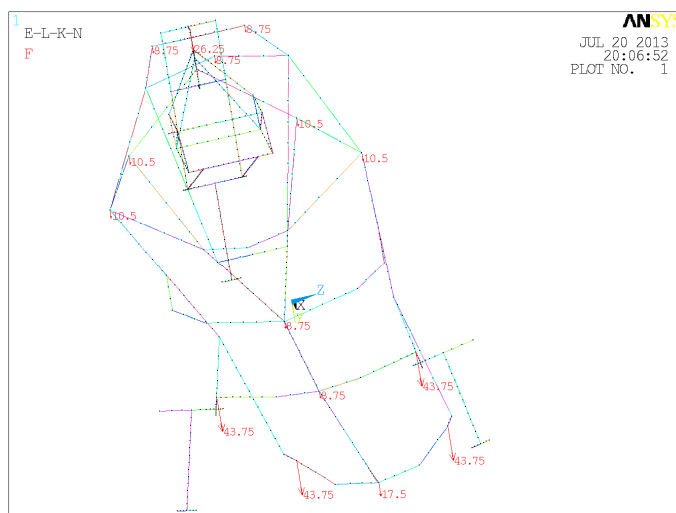


Figura 9.141. Representación de las cargas correspondientes a la carrocería para la estructura 3.

Las cargas en las barras debidas al asiento, obtenidas en el anexo VII, se recogen en la Tabla 9.157. Y en la Tabla 9.158, se detallan las cargas en las uniones debidas al peso del asiento. En la Figura 9.142, se señalan las barras sobre las que se aplican estas cargas.

Línea	Cota longitudinal de inicio (mm)	Cota longitudinal de fin (mm)	Longitud de línea (mm)	Presión (N/mm)	Número de nodos	Fuerza equivalente por nodo (N)
59	1970	1920	55	$1,050 \cdot 10^{-2}$	2	$3,500 \cdot 10^{-3}$
124	1920	1835	80	$9,591 \cdot 10^{-3}$	3	$2,398 \cdot 10^{-3}$
125	1835	1515	320	$1,303 \cdot 10^{-2}$	4	$2,607 \cdot 10^{-3}$
123	1515	1200	315	$9,111 \cdot 10^{-3}$	4	$1,822 \cdot 10^{-3}$
57	1200	800	385	$4,502 \cdot 10^{-3}$	11	$3,752 \cdot 10^{-4}$
113 y 114	800	700	115	$2,346 \cdot 10^{-3}$	2	$7,821 \cdot 10^{-4}$
31 y 58	700	445	240	$9,653 \cdot 10^{-3}$	8	$1,073 \cdot 10^{-3}$
61 y 111	445	420	824	$5,034 \cdot 10^{-4}$	3	$1,258 \cdot 10^{-4}$
115 y 116	420	370	16	$6,917 \cdot 10^{-2}$	5	$1,153 \cdot 10^{-2}$
33 y 48	1970	1970	100	$5,374 \cdot 10^{-4}$	3	$1,344 \cdot 10^{-4}$
51 y 52	1200	1200	100	0	2	0
66 y 67	800	800	100	$1,089 \cdot 10^{-2}$	5	$1,815 \cdot 10^{-3}$
108 y 109	445	445	100	$4,460 \cdot 10^{-3}$	2	$7,434 \cdot 10^{-4}$

Tabla 9.157. Cargas en las barras debidas al asiento en el ensayo 9b de la estructura 3.

Punto de anclaje	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Reacción longitudinal (N)	Reacción horizontal (N)	Reacción vertical (N)
63 y 93	1970	(+/-) 100	330,2	1,6190	$2,269 \cdot 10^{-1}$	$8,228 \cdot 10^{-1}$
65	1970	0	310,2	0	0	$-1,972 \cdot 10^{-2}$
115	1920	0	300,2	0	0	$3,519 \cdot 10^{-2}$
36	1835	0	290,7	0	0	$-6,876 \cdot 10^{-1}$
35	1515	0	255	0	0	$1,817 \cdot 10^{-2}$
99 y 103	1200	(+/-) 100	230	-1,517	2,986	$7,135 \cdot 10^{-1}$
101	1200	0	220	0	0	$1,174 \cdot 10^{-1}$
129 y 133	800	(+/-) 180	270,2	0	0	$6,066 \cdot 10^{-1}$
114	800	0	230	0	0	$-9,370 \cdot 10^{-3}$
17 y 18	700	(+/-) 23,4	237	0	0	$4,756 \cdot 10^{-2}$
11 y 13	445	(+/-) 83	255	0	0	$-2,739 \cdot 10^{-2}$
23	445	0	255	0	0	$5,366 \cdot 10^{-2}$
19 y 20	420	(+/-) 112	400,2	0	0	$1,340 \cdot 10^{-1}$
51 y 71	370	(+/-) 170	690	$-1,022 \cdot 10^{-1}$	$4,865 \cdot 10^{-1}$	$5,167 \cdot 10^{-1}$

Tabla 9.158. Cargas en las uniones debidas al asiento en el ensayo 9b de la estructura 3.



Figura 9.142. Zonas de aplicación de las cargas debidas al peso del asiento para el ensayo 9b de la estructura 3.

El peso del piloto se aplica en el punto indicado en la Tabla 9.159, siendo su valor el reflejado en la misma tabla.

Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Carga (N)
800	0	230	816

Tabla 9.159. Carga junto a su punto de aplicación correspondiente al piloto para el ensayo 9b de la estructura 3.

Representándose dicha carga en la Figura 9.143.

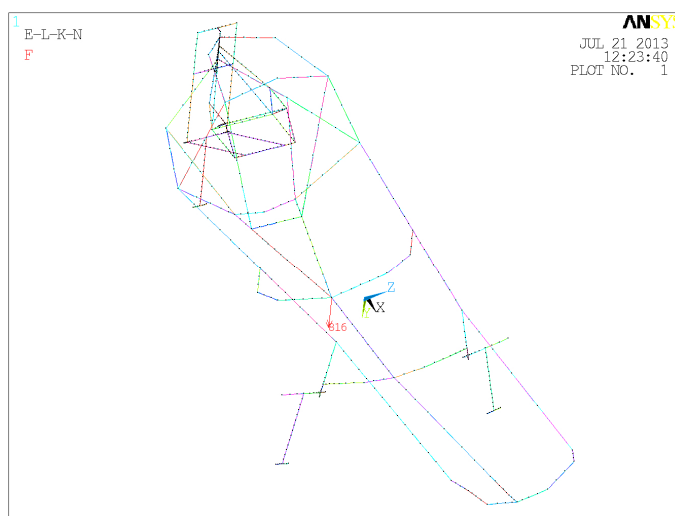


Figura 9.143. Representación de la carga debida al peso del piloto para el ensayo 9b de la estructura 3.

9.4. Análisis estructura 1.

Habiendo definido todos los análisis aplicables a la estructura se procede a realizar dichos ensayos sobre el modelo de elementos finitos de la estructura 1 definido en el apartado 8.7.1 considerando para la versión 1.0 de la estructura barras de diámetro 30 mm y 1 mm de espesor.

9.4.1. Estructura 1.0:

Antes de iniciar el análisis estructural de la estructura 1, es pertinente mencionar que para la fabricación de la estructura algunas uniones se van a realizar parcial o totalmente mediante el doblado de los tubos que concurren a ellas, a fin de admitir mayores tensiones en dichas uniones. Recorriendo la estructura desde el frontal hasta la parte posterior se considera continua la barra frontal, los largueros superiores, los largueros inferiores salvo en la unión con el eje, el eje, la parte

superior del arco de seguridad y los soportes superiores del eje vertical de giro. Resultando que el modelo de la estructura alcanza una masa de 9,467 kg, correspondiendo 2,944 kg a la masa de los elementos necesarios para la realización de los ensayos y 6,523 kg a la masa de la estructura.

Sometiendo a la estructura a los ensayos definidos en el apartado 9.3 se obtiene que la estructura 1.0 supera los ensayos 1, 5, 7 y 8. Al presentarse en el resto, tensiones superiores a 40 MPa, la máxima admitida por el adhesivo definido en el apartado 8.9.1, o en las uniones dobladas tensiones elevadas cercanas al límite elástico del material como se recoge en la Tabla 9.160, en la que se indican las tensiones y deformaciones máximas soportadas por la estructura en cada ensayo junto a su localización. Si las tensiones máximas se dan en el sub-bastidor trasero o en las ruedas se indican las tensiones máximas en la estructura junto a su localización.

Ensayo	Medida	Valor	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Ensayo superado
1	Deformación máxima (mm)	8,101	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	54,401	1200	-100	240	
2	Deformación máxima (mm)	43,357	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	282,305	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	228,166	20	0	550	
2b	Deformación máxima (mm)	34,752	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	274,590	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	204,602	20	0	550	
3	Deformación máxima (mm)	47,315	0	65	650	NO
	Tensión máxima (MPa)	196,584	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	172,566	20	0	550	
3b	Deformación máxima (mm)	49,324	0	-65	650	NO
	Tensión máxima (MPa)	196,584	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	180,824	20	0	550	
4	Deformación máxima (mm)	4,456	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	67,915	20	0	550	
4b	Deformación máxima (mm)	12,077	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	106,177	1200	-100	240	
5	Deformación máxima (mm)	2,828	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	38,269	1200	0	240	
6	Deformación máxima (mm)	58,504	0	0	0	NO
	Tensión máxima (MPa)	236,159	1970	-100	330,2	
6b	Deformación máxima (mm)	2,783	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	61,313	20	0	550	
7	Deformación máxima (mm)	5,142	1970	-180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	45,174	1200	300	245	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	34,380	1200	-208	410,2	
8	Deformación máxima (mm)	6,360	1970	-180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	53,710	1200	-100	240	
9	Deformación máxima (mm)	21,140	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	185,974	1200	0	240	
9b	Deformación máxima (mm)	16,567	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	170,376	1200	-100	240	

Tabla 9.160. Resultados de los ensayos para la estructura 1.0.

9.4.2. Estructura 1.1:

En vista de que la estructura 1.0 no supera la mayor parte de los ensayos y es necesario aumentar su rigidez a torsión se han inclinado las barras superiores del arco de seguridad, haciendo que las barras inferiores del arco de seguridad terminen en los soportes del respaldo. Se ha reducido la sección de la barra en la que se sujeta el extintor a 7 mm de diámetro y 1 mm de espesor. Representándose en la Figura 9.144 el modelo mallado de la estructura 1.1 en el que se pueden apreciar estos cambios. Además, una modificación que se ha realizado y que no es apreciable en la Figura 9.144 ha consistido en añadir un refuerzo horizontal entre las barras inferiores que soportan el eje de giro como se puede apreciar en la Figura 9.145.

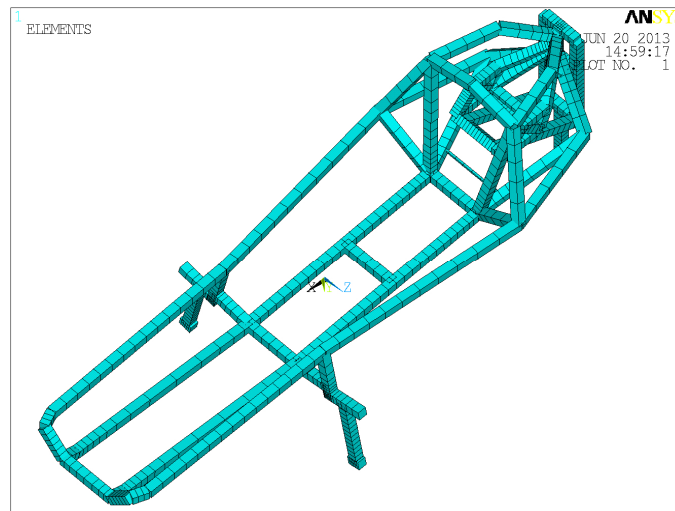


Figura 9.144. Representación isométrica del mallado de la estructura 1.1.



Figura 9.145. Detalle del refuerzo introducido a la estructura 1.1.

Manteniendo en el resto de barras las dimensiones empleadas en el ensayo anterior, es decir, diámetro 30 mm y espesor 1 mm, así como las uniones dobladas descritas en la estructura 1.0. Resultando que el modelo de la estructura alcanza una masa de 9,438 kg, correspondiendo 2,944 kg a la masa de los elementos necesarios para la realización de los ensayos y 6,494 kg a la masa de la estructura.

En la estructura 1.1 las tensiones máximas y las deformaciones máximas se localizan en los puntos indicados en la Tabla 9.161 junto con los valores alcanzados por estas dimensiones. Resultando que la estructura 1.1 supera los ensayos 1, 4, 5, 6b, 7 y 8 al situarse las tensiones máximas en el orden de los 40 MPa que soporta el adhesivo seleccionado o en regiones de la estructura que admiten mayores tensiones.

Ensayo	Medida	Valor	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Ensayo superado
1	Deformación máxima (mm)	7,633	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	51,643	1200	-100	240	
2	Deformación máxima (mm)	39,363	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	276,957	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	208,684	20	0	630	
2b	Deformación máxima (mm)	33,956	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	279,938	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	199,018	20	0	630	
3	Deformación máxima (mm)	37,716	0	65	650	NO
	Tensión máxima (MPa)	168,787	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	168,713	20	0	550	
3b	Deformación máxima (mm)	39,754	150	-110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	175,552	20	0	550	
4	Deformación máxima (mm)	3,179	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	58,357	370	0	730	
4b	Deformación máxima (mm)	9,911	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	87,860	1200	-100	240	
5	Deformación máxima (mm)	2,598	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	39,604	370	-122	290,4	
6	Deformación máxima (mm)	47,829	0	0	0	NO
	Tensión máxima (MPa)	203,390	1970	-100	330,2	
6b	Deformación máxima (mm)	2,799	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	53,276	1200	100	240	
7	Deformación máxima (mm)	3,559	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	50,819	1200	-100	240	
8	Deformación máxima (mm)	4,829	1970	0	330,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	49,861	370	0	290,4	
9	Deformación máxima (mm)	19,153	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	174,140	1200	0	240	
9b	Deformación máxima (mm)	14,507	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	152,379	1200	-100	240	

Tabla 9.161. Resultados de los ensayos para la estructura 1.1.

9.4.3. Estructura 1.2:

Analizando detalladamente la estructura 1.1 se observa que es posible modificar el arco de seguridad aumentando el espacio del habitáculo sin afectar a la carrocería y mejorando el comportamiento a torsión de la estructura. Por ello, en la estructura 1.2 se aumenta ligeramente la distancia entre los puntos más extremos del arco seguridad en el plano horizontal. Se reduce el tamaño de la barra inferior del arco de seguridad hasta un diámetro de 7 mm con un espesor de 1 mm, al apreciarse que dicha barra en los ensayos de la estructura 1.1 no presenta un elevado estado tensional. Se extiende el travesaño hasta alcanzar los largueros superiores para aumentar un poco más la rigidez a torsión de la estructura. Por otro lado, como en la estructura 1.1 aparecen tensiones elevadas en el eje se aumenta la rigidez a flexión del eje sustituyendo este por dos barras en paralelo de diámetro 20 mm y espesor 1 mm. Y se rediseña la sujeción del eje a los largueros superiores como se puede observar en la Figura 9.146. Finalmente, para aumentar aun más la rigidez a torsión se añaden unos refuerzos de 20 mm de diámetro y 1 mm de espesor entre los largueros, el eje y el arco de seguridad en la disposición se aprecia en la representación de la estructura 1.2 mallada en la Figura 9.147.

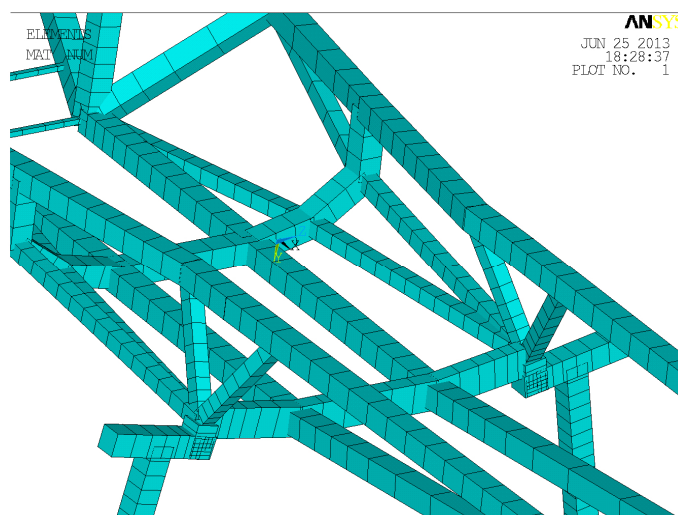


Figura 9.146. Detalle del eje de la estructura 1.2.

Con estos cambios las barras consideradas continuas varían ligeramente con respecto a las consideradas en la estructura 1.0 siendo esta estructura: la barra frontal, los largueros superiores, los largueros inferiores salvo en la unión con el eje y en la unión con el travesaño, el eje, el travesaño, el arco de seguridad superior y las barras superiores que soportan el eje de giro vertical.

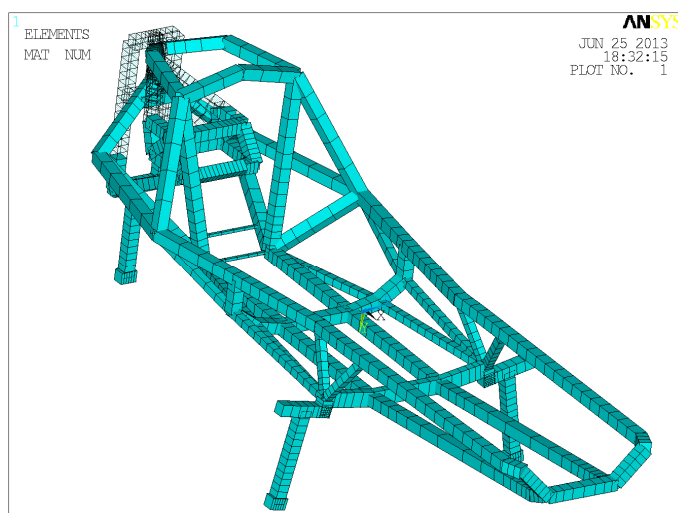


Figura 9.147. Representación isométrica del mallado de la estructura 1.2.

Realizando los ensayos definidos en el apartado 9.3 se obtienen las tensiones y deformaciones recogidas en la Tabla 9.162.

Ensayo	Medida	Valor	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Ensayo superado
1	Deformación máxima (mm)	4,783	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	43,474	1200	-238	262	
2	Deformación máxima (mm)	33,683	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	276,957	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	204,625	20	0	630	
2b	Deformación máxima (mm)	30,845	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	279,954	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	192,385	20	0	630	
3	Deformación máxima (mm)	24,732	0	65	650	NO
	Tensión máxima (MPa)	161,615	20	0	550	
3b	Deformación máxima (mm)	25,783	150	-110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	168,655	20	0	550	
4	Deformación máxima (mm)	3,612	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	60,574	370	0	730	
4b	Deformación máxima (mm)	5,536	1200	-350	0	SI
	Tensión máxima (MPa)	61,857	370	0	730	
5	Deformación máxima (mm)	2,204	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	39,696	370	-122	290,4	
6	Deformación máxima (mm)	34,461	0	0	0	NO
	Tensión máxima (MPa)	192,149	1970	-180	410,2	
6b	Deformación máxima (mm)	2,500	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	48,862	370	0	290,4	
7	Deformación máxima (mm)	2,245	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	47,166	370	0	290,4	
8	Deformación máxima (mm)	3,722	1970	0	330,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	48,101	370	0	290,4	
9	Deformación máxima (mm)	12,972	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	140,95	1200	0	240	
9b	Deformación máxima (mm)	18,589	1200	-350	0	SI
	Tensión máxima (MPa)	187,99	1200	0	240	

Tabla 9.162. Resultados de los ensayos para la estructura 1.2.

Resultando que el modelo de la estructura 1.2 alcanza una masa de 10,772 kg, correspondiendo 2,944 kg a la masa de los elementos necesarios para la realización de los ensayos y 7,828 kg a la masa de la estructura. Superándose los ensayos 1, 4, 4b, 5, 6b, 7, 8, 9 y 9b al estar las tensiones en las uniones por debajo de los 40 MPa que soporta el adhesivo teniendo presentes las barras que se consideran continuas.

9.4.4. Estructura 1.3:

Habiéndose observado que la estructura 1.2 aun presenta tensiones elevadas en la zona de unión del eje vertical de giro se ha decidido aumentar el espesor de las barras de dichas uniones, pasando las barras superiores a tener un espesor de 3 mm y las inferiores de 7,5 mm. Con ello las barras superiores dejan de ser continuas con una doblez a estar compuestas de dos tramos uno con espesor interior de 3 mm y otro con espesor interior de 1 mm., manteniéndose el resto de las barras continuas de la estructura 1.2. En la Figura 9.148 se puede observar una representación de la estructura 1.3 mallada. Resultando que el modelo de la estructura alcanza una masa de 11,671 kg, correspondiendo 2,944 kg a la masa de los elementos necesarios para la realización de los ensayos y 8,727 kg a la masa de la estructura.

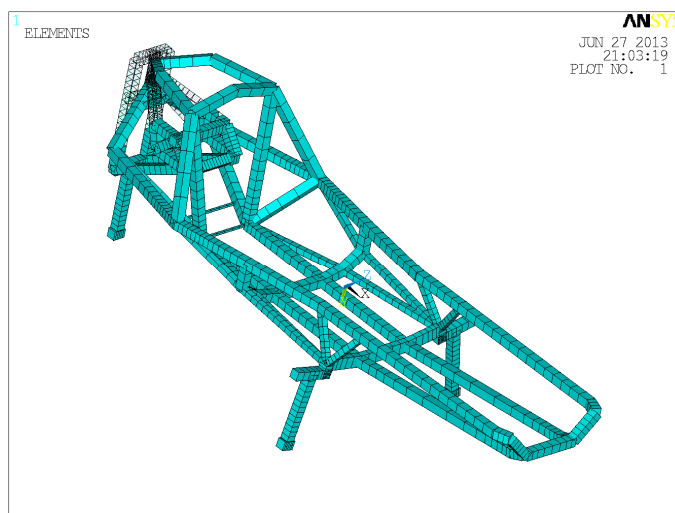


Figura 9.148. Representación isométrica del mallado de la estructura 1.3.

En la Tabla 9.163 se detallan las tensiones y las deformaciones sufridas por la estructura 1.3 al someterla a los ensayos. Aplicando los ensayos definidos en el apartado 9.3 se obtiene que la estructura supera directamente los ensayos 1, 4, 4b, 5, 6b, 7, 8, 9 y 9b. Teniendo presentes las

barras continuas y los efectos de las cargas puntuales, se considera que la estructura supera el resto de ensayos al ser las tensiones máximas inferiores al límite elástico del material, 280 MPa. Por tanto, al superar la estructura todos los ensayos considerados se procede en los siguientes subapartados a mostrar los diagramas de tensiones y deformaciones correspondientes a cada ensayo de la estructura 1.3.

Ensayo	Medida	Valor	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Ensayo superado
1	Deformación máxima (mm)	4,978	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	43,909	1200	-238	262	
2	Deformación máxima (mm)	27,826	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	276,784	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	132,239	370	-170	690	
2b	Deformación máxima (mm)	25,404	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	280,110	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	124,233	370	170	690	
3	Deformación máxima (mm)	22,226	0	-65	650	NO
	Tensión máxima (MPa)	156,786	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	102,263	520	-300	410,2	
3b	Deformación máxima (mm)	23,495	150	-110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	156,786	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	101,297	520	-300	410,2	
4	Deformación máxima (mm)	3,237	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	59,244	370	0	730	
4b	Deformación máxima (mm)	5,540	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	60,458	370	0	730	
5	Deformación máxima (mm)	2,133	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	39,696	370	-122	290,4	
6	Deformación máxima (mm)	38,127	0	0	0	NO
	Tensión máxima (MPa)	214,120	1970	-180	410,2	
6b	Deformación máxima (mm)	1,506	1200	-350	0	SI
	Tensión máxima (MPa)	43,506	370	0	290,4	
7	Deformación máxima (mm)	2,331	1970	100	330,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	46,795	370	0	290,4	
8	Deformación máxima (mm)	3,675	1970	0	330,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	47,753	370	0	290,4	
9	Deformación máxima (mm)	12,944	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	140,916	1200	0	240	
9b	Deformación máxima (mm)	9,221	1200	-350	0	SI
	Tensión máxima (MPa)	88,018	1200	-238	262	

Tabla 9.163. Resultados de los ensayos para la estructura 1.3.

9.4.4.1. Ensayo 1 para la estructura 1.3:

En la Figura 9.149 se realiza una representación de las deformaciones sufridas por la estructura, observándose que la deformación máxima es de 4,973 mm en el extremo delantero izquierdo siendo dicha deformación coherente con el comportamiento esperado para la estructura al someterse a este conjunto de cargas y restricciones.

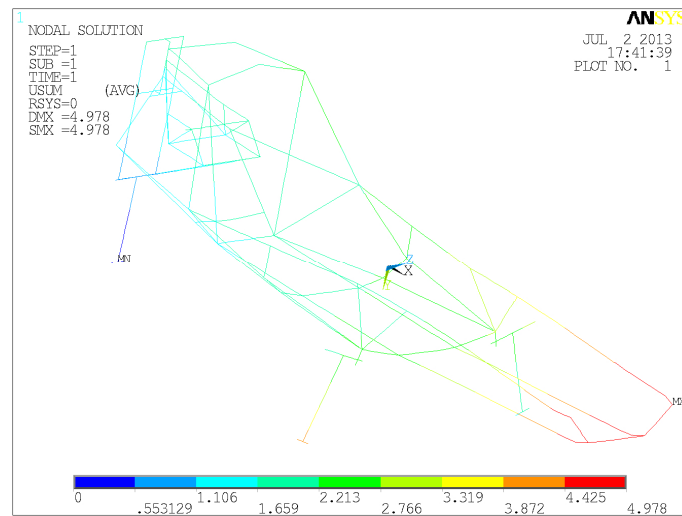


Figura 9.149. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 1.

La distribución de tensiones equivalentes de Von Mises para esta situación tensional se recoge en la Figura 9.150, en la que se emplea para que la representación sea posible una representación volumétrica de los elementos finitos empleados en el modelado de la estructura.

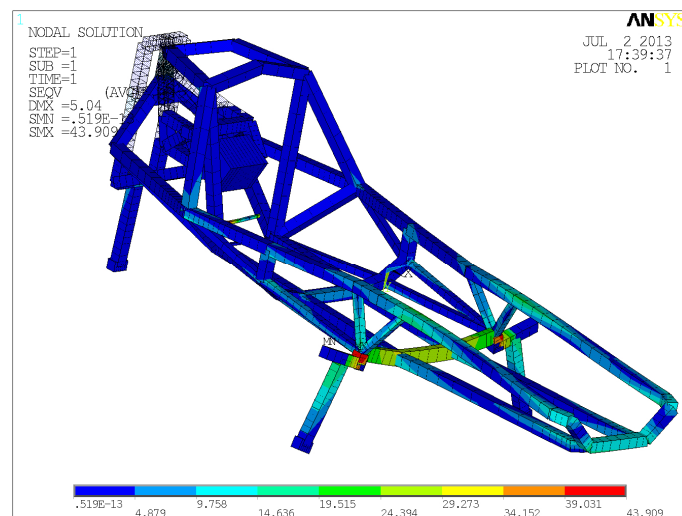


Figura 9.150. Tensiones de Von Mises para el ensayo 1 de la estructura 1.3.

Apreciándose que la tensión máxima es de 43,909 MPa en el extremo derecho de eje del prototipo en la unión con los soportes del mismo al larguero superior y que en la zona simétrica a esta se localizan el resto de tensiones elevadas del modelo.

9.4.4.2. Ensayo 2 para la estructura 1.3:

Para el ensayo 2 de la estructura 1.3 la representación de las deformaciones se puede apreciar en la Figura 9.151. La deformación máxima de la estructura 1.3 al someterla al ensayo 2 es de 27,826 mm y se sitúa en el punto medio del arco de seguridad. La distribución de tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura 1.3 se representa en la Figura 9.152.

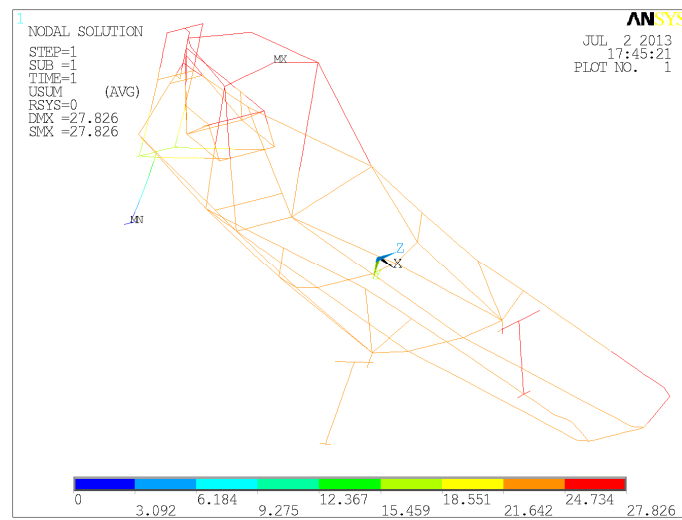


Figura 9.151. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 2.

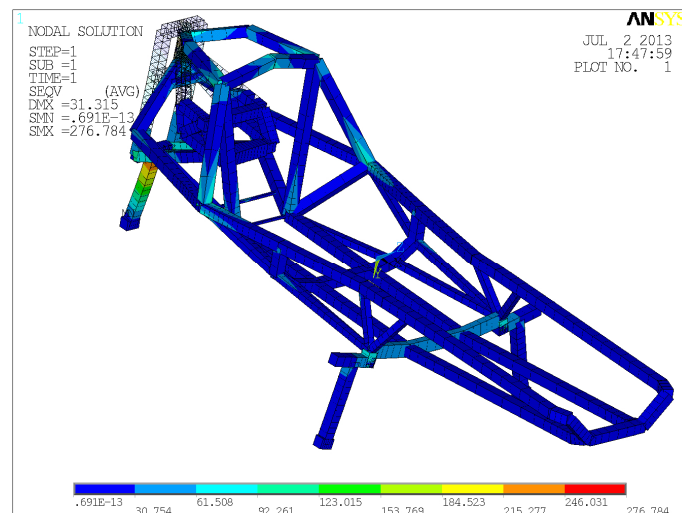


Figura 9.152. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2 de la estructura 1.3.

Observándose que la tensión máxima en el ensayo tiene un valor de 276,784 MPa y se localiza en el punto medio del eje de la rueda trasera. La tensión máxima en la estructura es de 132,239 MPa en el extremo superior derecho del arco de seguridad. Para determinar todas las zonas en las que

se superan las tensiones admisibles se realiza una representación de las tensiones equivalentes limitando la tensión máxima a representar a 40 MPa que se puede apreciar en la Figura 9.153.

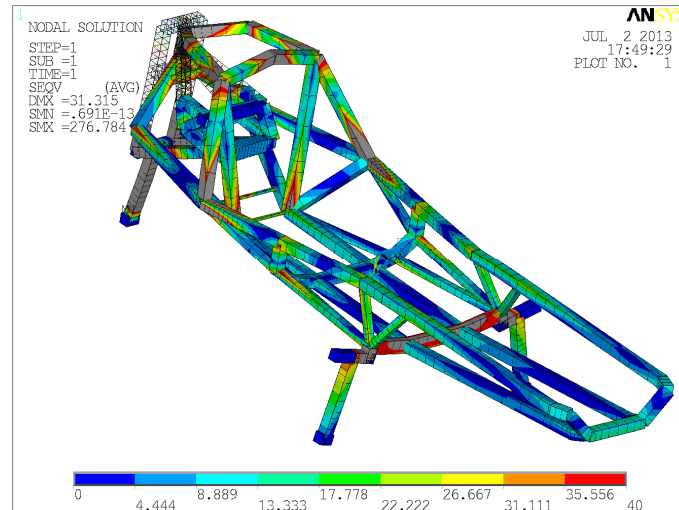


Figura 9.153. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2 de la estructura 1.3.

9.4.4.3. Ensayo 2b para la estructura 1.3:

En la Figura 9.154 se representan las deformaciones que sufre la estructura 1.3 al aplicarse sobre ella las cargas y restricciones correspondientes a este ensayo. Observándose que la deformación máxima es de 25,404 mm y se localiza en el punto medio del arco de seguridad, siendo las deformaciones coherentes con las cargas aplicadas sobre la estructura.

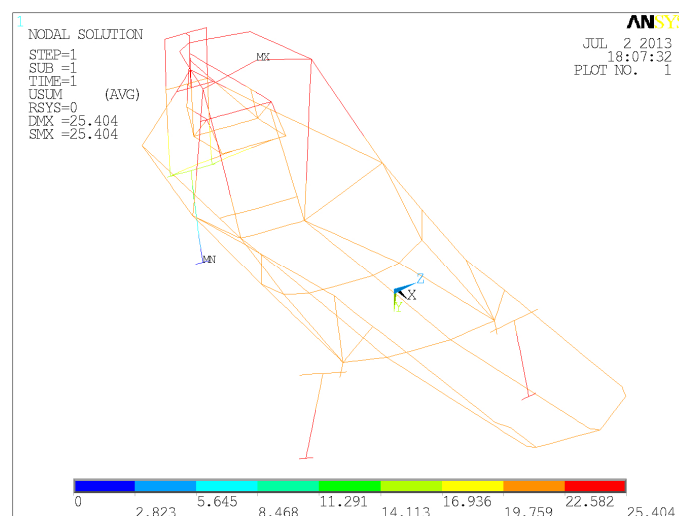


Figura 9.154. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 2b.

La representación de las tensiones equivalentes de Von Mises se realiza en la Figura 9.155, resultando que la tensión máxima en el ensayo es de 280,110 MPa en el punto medio del eje de la rueda trasera. Y la tensión máxima en la estructura es de 124,233 MPa localizándose en el extremo superior izquierdo del arco de seguridad. Para comprobar que la estructura es válida para este ensayo se repite la representación de las tensiones de la estructura limitando la tensión máxima a 40 MPa en la Figura 9.156.

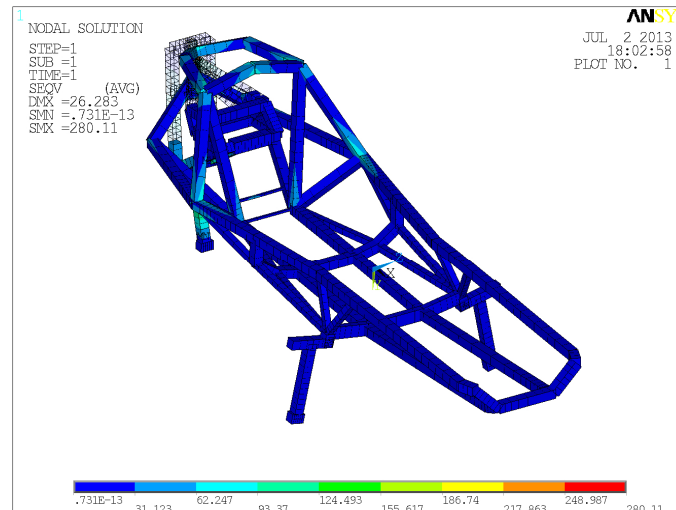


Figura 9.155. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2b de la estructura 1.3.

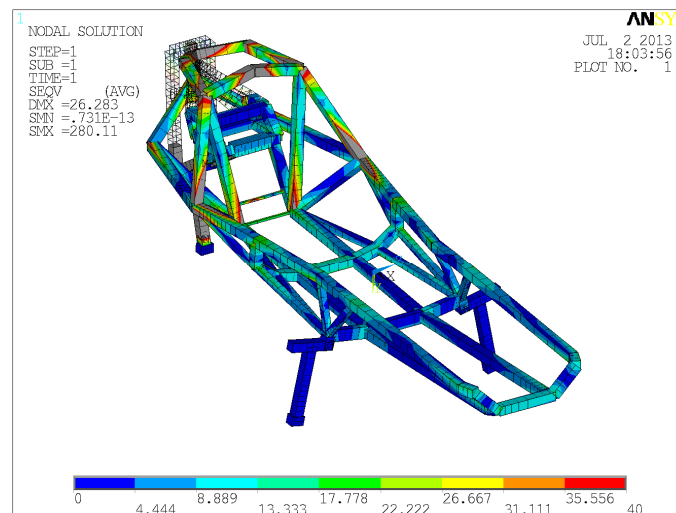


Figura 9.156. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2b de la estructura 1.3.

9.4.4.4. Ensayo 3 para la estructura 1.3:

Para el ensayo 3 de la estructura 1.3 la deformada se puede apreciar en la Figura 9.157.

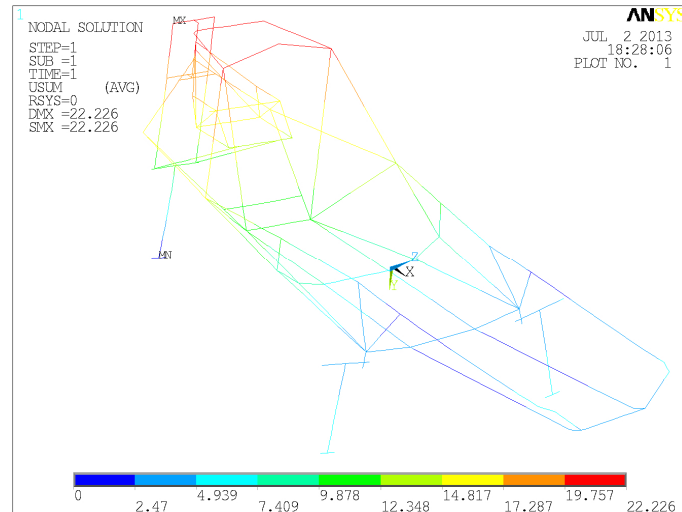


Figura 9.157. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 3.

Donde se observa que la deformada es coherente con las cargas y las restricciones aplicadas sobre la estructura, que la deformación máxima es de 22,226 mm y se encuentra en el extremo superior derecho del sub-bastidor trasero. Las tensiones equivalentes de Von Mises se representan en la Figura 9.158.

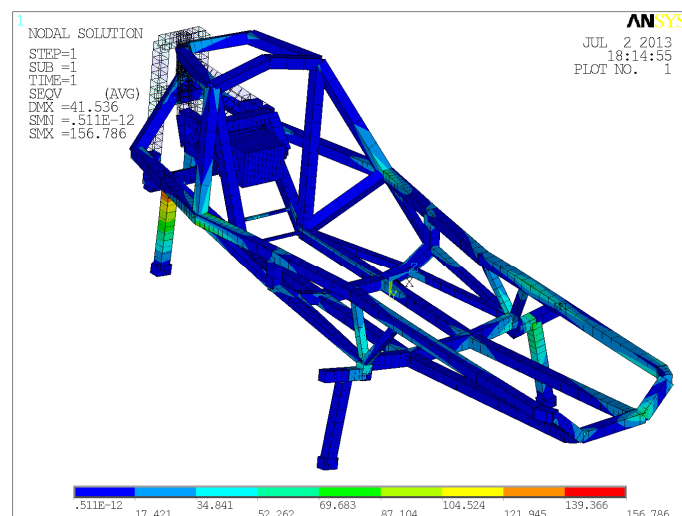


Figura 9.158. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3 de la estructura 1.3.

Siendo la tensión máxima en el ensayo de 156,786 MPa en el punto medio del eje de la rueda trasera. Y la máxima tensión en la estructura de 102,263 MPa en la unión del larguero superior derecho con el arco de seguridad justo en el punto de aplicación de la carga de 700 N. Para determinar todas las zonas tensionadas por encima de la tensión máxima admisible por el adhesivo seleccionado se representan las tensiones inferiores a 40 MPa en la Figura 9.159.

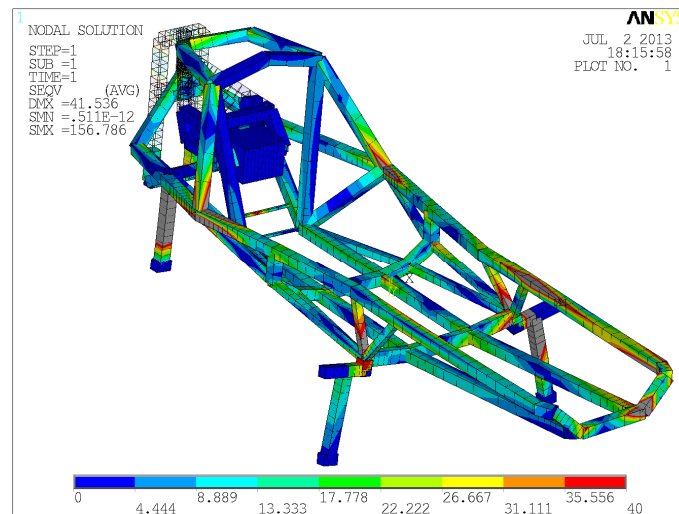


Figura 9.159. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 3 de la estructura 1.3.

9.4.4.5. Ensayo 3b para la estructura 1.3:

La representación de la deformación de la estructura 1.3 al someterla a las tensiones y restricciones del ensayo 3b se puede apreciar en la Figura 9.160.

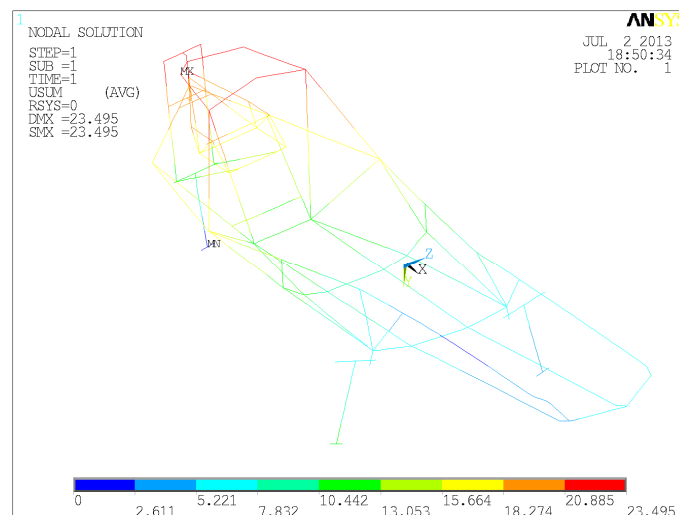


Figura 9.160. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 3b.

Donde se observa que la deformación máxima es de 23,495 mm y se localiza en la unión superior del soporte superior derecho del eje de giro del vehículo, además de que la deformación concuerda con lo esperado. La representación de las tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura se realiza en la Figura 9.161.

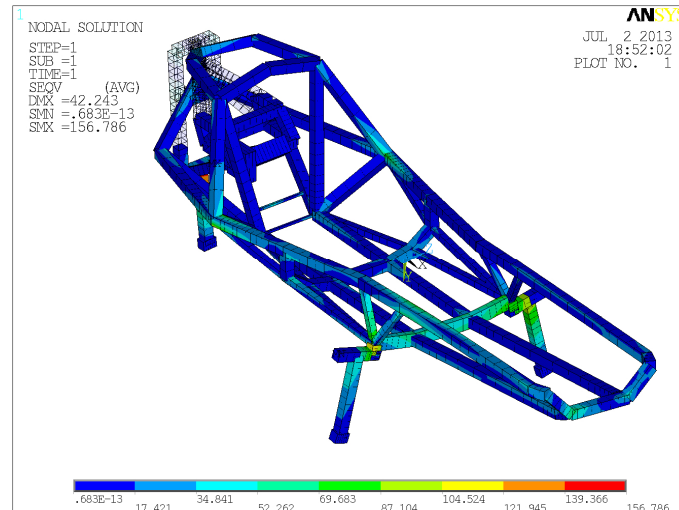


Figura 9.161. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3b de la estructura 1.3.

Resultando la tensión máxima en el ensayo de 156,786 MPa en el punto medio del eje de la rueda trasera. Siendo la tensión máxima en la estructura de 101,297 MPa en la unión del larguero superior derecho y el arco de seguridad. Para apreciar claramente las regiones en donde la tensión es superior a los 40 MPa se realiza en la Figura 9.162 una representación de las tensiones inferiores a dicho valor.

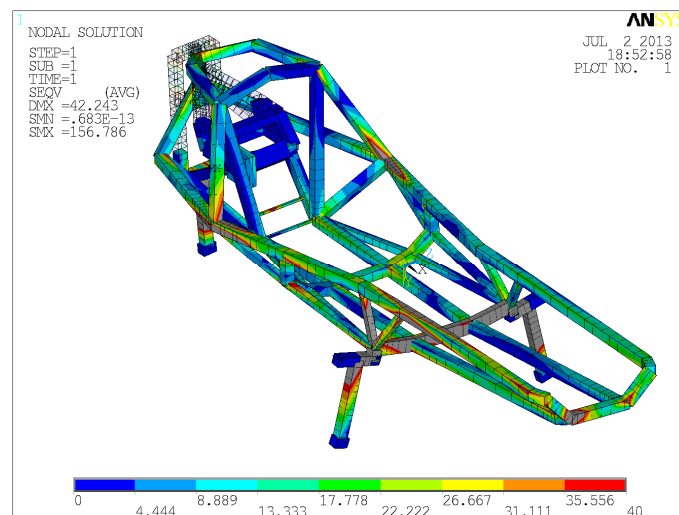


Figura 9.162. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 3b de la estructura 1.3.

9.4.4.6. Ensayo 4 para la estructura 1.3:

En la Figura 9.163 se representa la deformación de la estructura al aplicarse las condiciones del presente ensayo. Apreciándose que la deformación máxima se localiza en el extremo delantero

izquierdo de la estructura y toma un valor de 3,237 mm, siendo este resultado coherente con las cargas y restricciones aplicadas.

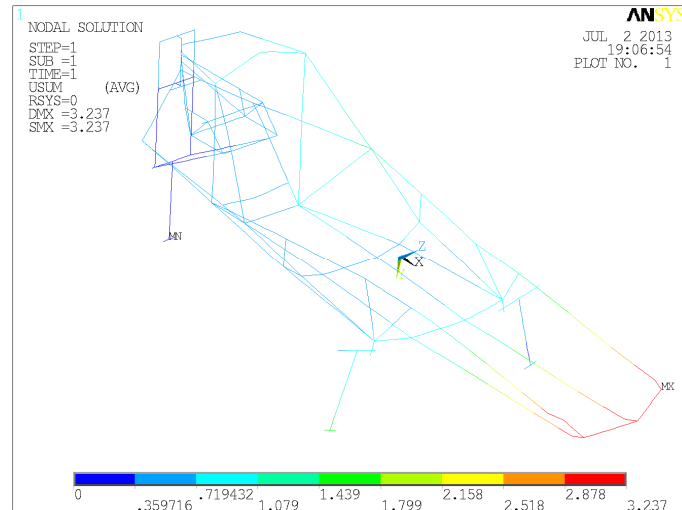


Figura 9.163. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 4.

La representación de las tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura se realiza en la Figura 9.164, donde se observa que la tensión máxima de 59,244 MPa se localiza en el extremo superior del arco de seguridad coincidiendo con el punto de aplicación de la carga.

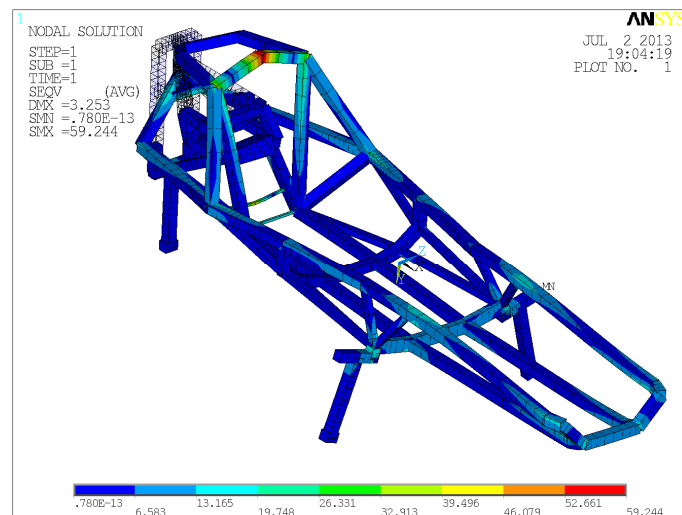


Figura 9.164. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4 de la estructura 1.3.

9.4.4.7. Ensayo 4b para la estructura 1.3:

En el ensayo 4b, la representación de la deformación de la estructura se realiza en la Figura 9.165.

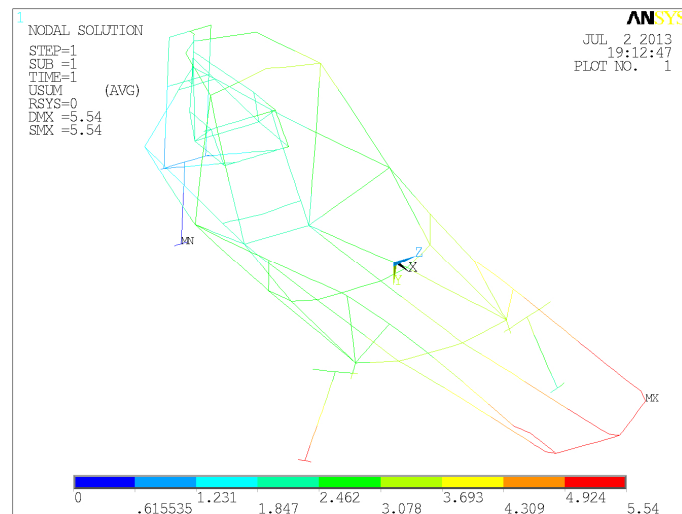


Figura 9.165. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 4b.

Apreciándose que la deformación máxima se sitúa en la unión del larguero superior izquierdo con la barra frontal alcanzando un valor de 5,540 mm. Además dicha deformación es coherente con el estado tensional al que ha sido sometida la estructura 1.3. En la Figura 9.166 se representan las tensiones equivalentes de Von Misses para este ensayo, obteniéndose que la tensión máxima de la estructura es de 60,458 MPa y se localiza en el extremo superior del arco de seguridad.

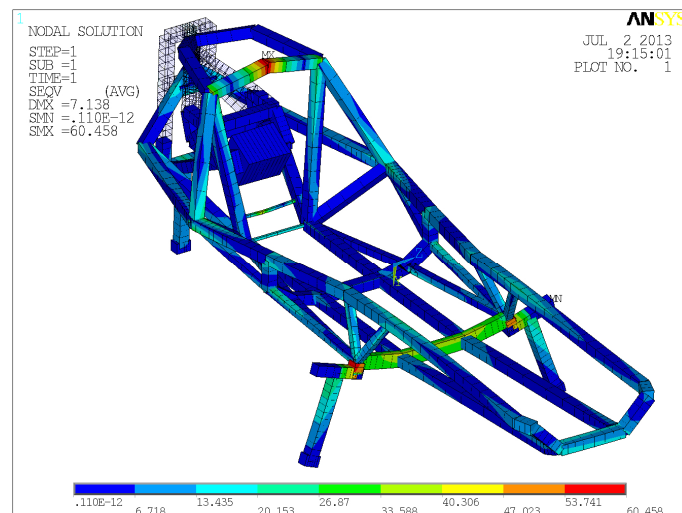


Figura 9.166. Tensiones de Von Misses para el ensayo 4b de la estructura 1.3.

9.4.4.8. Ensayo 5 para la estructura 1.3:

La deformación de esta estructura al someterla al ensayo se puede apreciar en la Figura 9.167.

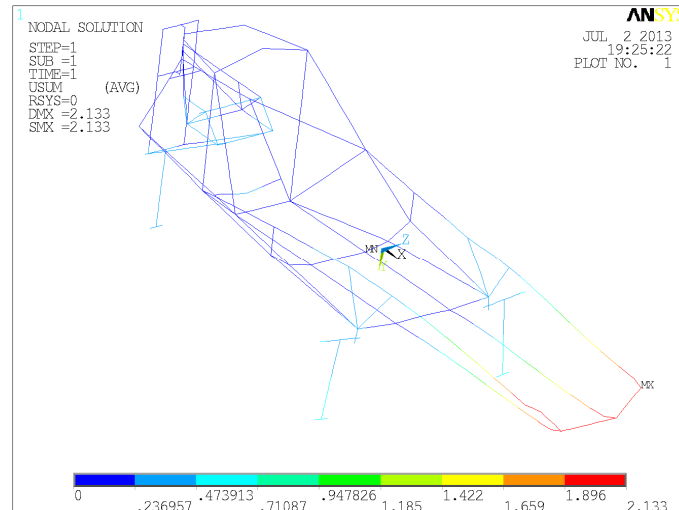


Figura 9.167. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 5.

Observándose que la deformación máxima se localiza en el extremo delantero izquierdo de la estructura con un valor de 2,133 mm, siendo coherente con las restricciones aplicadas a la estructura. Las tensiones equivalentes de Von Mises se recogen en la Figura 9.168.

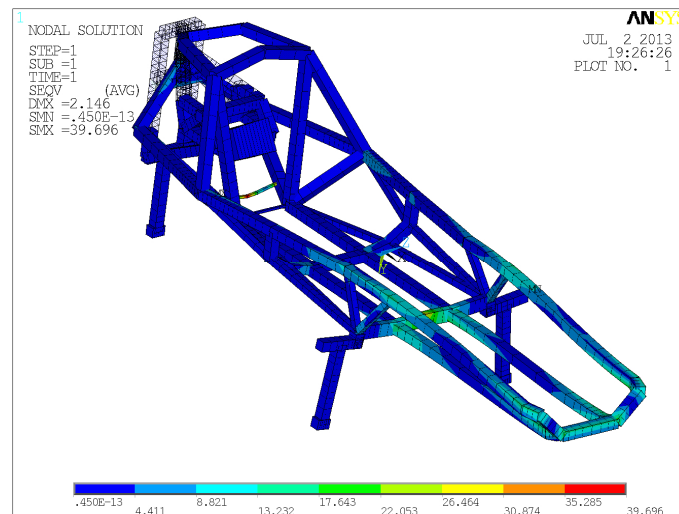


Figura 9.168. Tensiones de Von Mises para el ensayo 5 de la estructura 1.3.

Resultando que la tensión máxima es de 39,696 MPa y se produce en la unión de la barra del extintor con el larguero inferior derecho, por lo que la estructura supera el análisis.

9.4.4.9. Ensayo 6 para la estructura 1.3:

En la Figura 9.169 se representa la deformada de la estructura 1.3 sometida al ensayo 6.

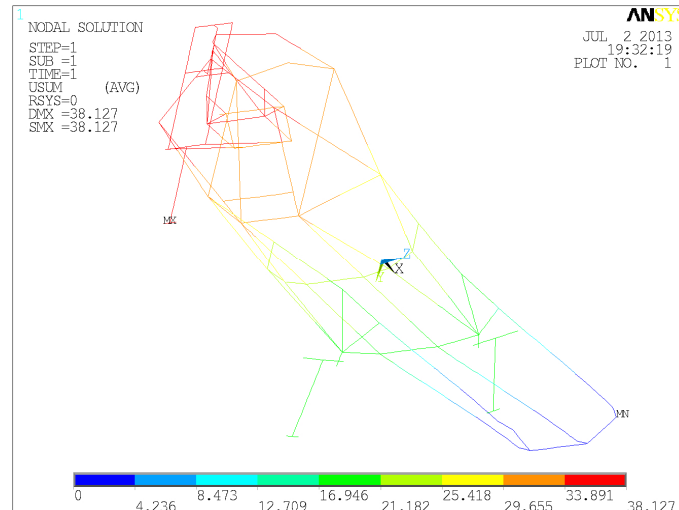


Figura 9.169. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 6.

Siendo la deformación máxima de 38,127 mm en el punto de contacto de la rueda trasera con el suelo. Las tensiones equivalentes de Von Misses de la estructura para el ensayo 6 se representan en la Figura 9.170. Obteniéndose una tensión máxima de 214,120 MPa en la unión de los largueros con la barra frontal, como es una tensión principalmente de compresión y además se localiza en los alrededores del empotramiento se considera que la estructura supera el ensayo ya que los puntos de interés en este ensayo son los correspondientes a los anclajes de los cinturones.

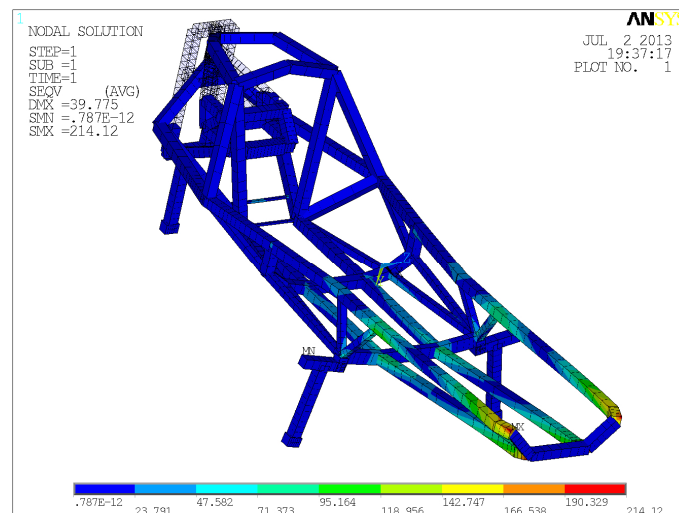


Figura 9.170. Tensiones de Von Misses para el ensayo 6 de la estructura 1.3.

9.4.4.10. Ensayo 6b para la estructura 1.3:

La representación de la deformación que sufre la estructura se realiza en la Figura 9.171.

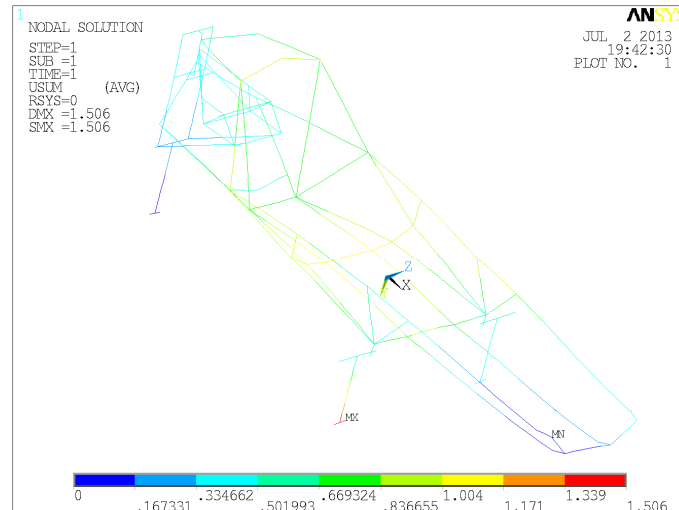


Figura 9.171. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 6b.

Donde se aprecia que la deformación máxima se localiza en el punto de contacto de la rueda delantera derecha con la calzada alcanzando un valor de 1,506 mm. Esta deformada es coherente con las cargas y restricciones aplicadas sobre la estructura. En la Figura 9.172 se puede apreciar la representación de las tensiones equivalentes de Von Mises en la estructura 1.3.

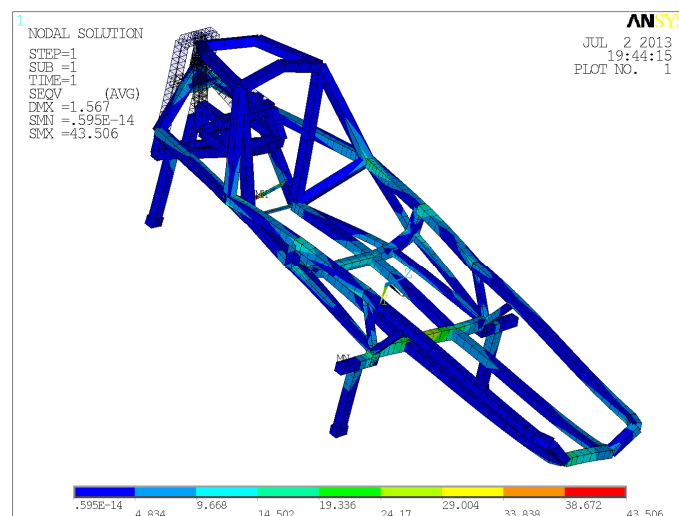


Figura 9.172. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6b de la estructura 1.3.

Siendo la tensión máxima de 43,506 MPa en el punto medio de la barra del extintor.

9.4.4.11. Ensayo 7 para la estructura 1.3:

En el ensayo 7, las deformaciones sufridas por la estructura 1.3 se representan en la Figura 9.173.

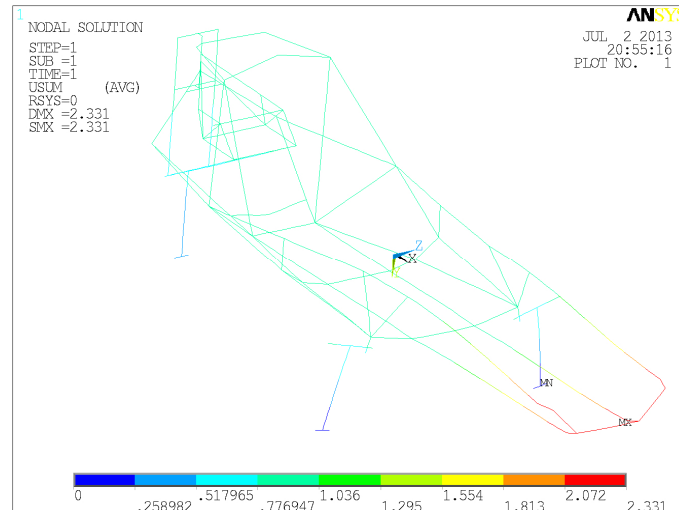


Figura 9.173. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 7.

Resultando que la mayor deformación se produce en la unión del larguero inferior izquierdo y la barra frontal con un valor de 2,331 mm. Y la representación de las tensiones equivalentes de Von Misses se realiza en la Figura 9.174.

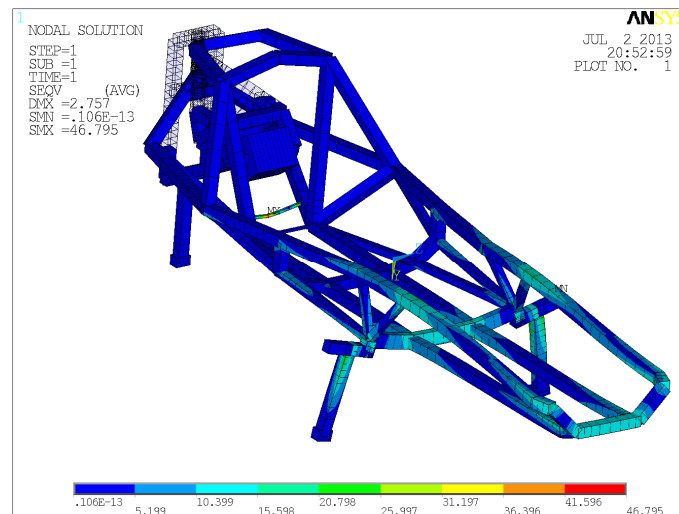


Figura 9.174. Tensiones de Von Misses para el ensayo 7 de la estructura 1.3.

Apreciándose que la tensión máxima se localiza en el punto medio de la barra del extintor tomando un valor de 46,795 MPa.

9.4.4.12. Ensayo 8 para la estructura 1.3:

Se representa en la Figura 9.175 la deformada de la estructura 1.3 para este ensayo.

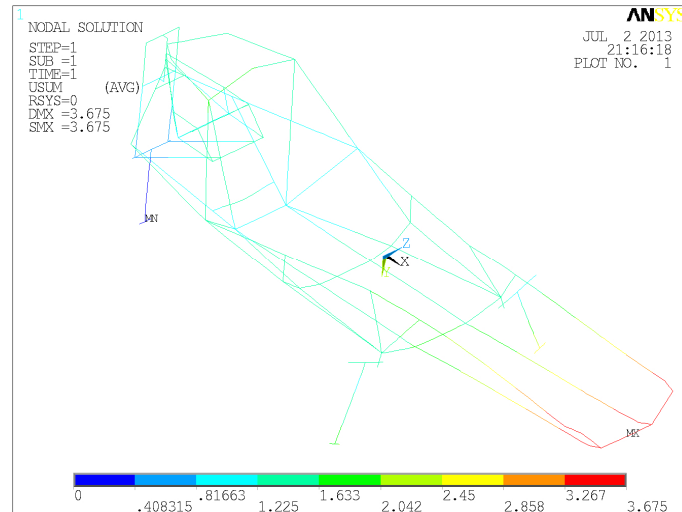


Figura 9.175. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 8.

Donde se puede apreciar que la deformación máxima se localiza en el punto medio de la barra frontal alcanzando un valor de 3,675 mm, coherente con las tensiones y restricciones aplicadas al modelo. Las tensiones equivalentes de Von Mises se representan en la Figura 9.176.

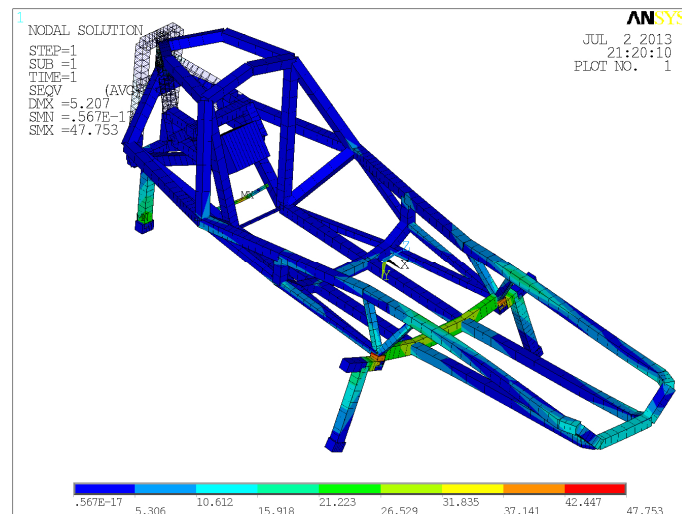


Figura 9.176. Tensiones de Von Mises para el ensayo 8 de la estructura 1.3.

Observándose que la tensión máxima es de 47,753 MPa y se sitúa en el punto medio de la barra del extintor.

9.4.4.13. Ensayo 9 para la estructura 1.3:

En la Figura 9.177 se puede apreciar la deformación sufrida por la estructura al realizar el ensayo.

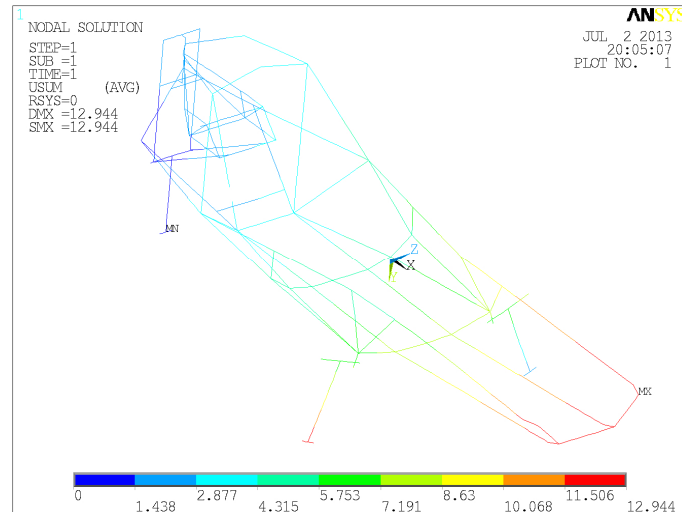


Figura 9.177. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 9.

Donde se obtiene que la deformación máxima es 12,944 mm y se localiza en el extremo delantero izquierdo de la estructura. Observándose que la deformada es coherente con las cargas y restricciones aplicadas. La representación de las tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura se puede apreciar en la Figura 9.178. Resultando que la mayor tensión es de 140,916 MPa en el punto medio del eje.

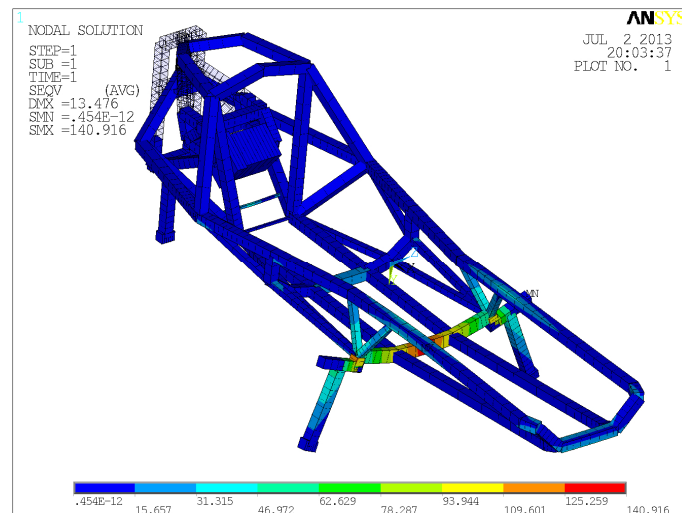


Figura 9.178. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9 de la estructura 1.3.

9.4.4.14. Ensayo 9b para la estructura 1.3:

Las deformaciones resultantes de aplicar el ensayo 9b a la estructura 1.3 se representan en la Figura 9.179.

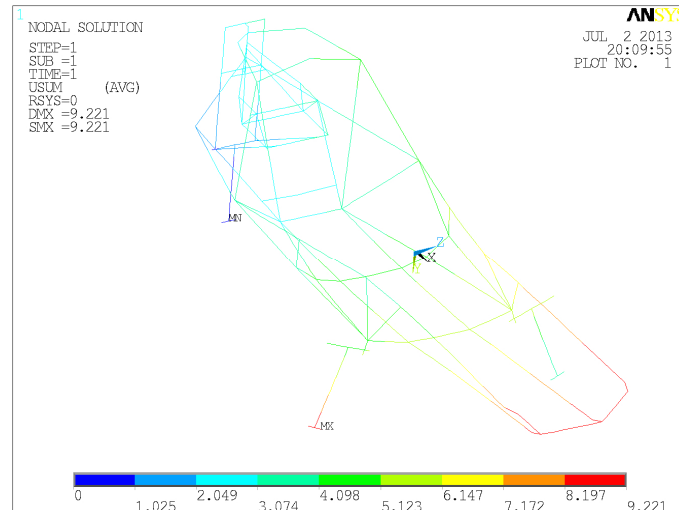


Figura 9.179. Deformaciones de la estructura 1.3 al someterse al ensayo 9b.

Obteniéndose que la mayor deformación se localizan en el punto de contacto de la rueda delantera derecha con la calzada con un valor de 9,221 mm, que es coherente con las cargas y restricciones de este ensayo. Las tensiones equivalentes de Von Mises se pueden apreciar en la Figura 9.180. Siendo la tensión máxima 88,018 MPa en la unión del eje delantero con los soportes del mismo.

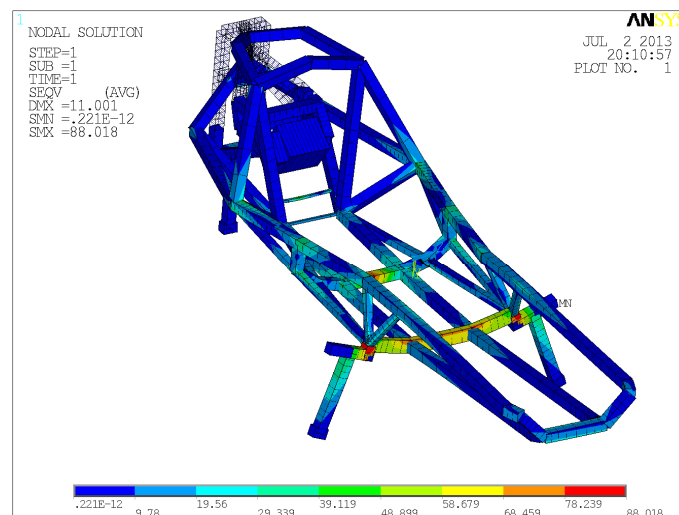


Figura 9.180. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9b de la estructura 1.3.

9.4.5. Estructura 1.4:

Una vez obtenida una estructura valida, la estructura 1.3, se ha procedido a aligerar dicha estructura sustituyendo algunas de las barras de 30 mm de diámetro y 1 mm de espesor por

barras de diámetro 20 mm y 1 mm de espesor, siendo dichas barras: los largueros inferiores, los soportes inferiores del arco de seguridad, los soportes del respaldo y la barra frontal como se puede observar en la Figura 9.181, sin por ello alterar las barras que se consideraban continuas en la estructura 1.3.

Resultando que el modelo en elementos finitos de la estructura 1.4 alcanza una masa de 11,337 kg, correspondiendo 2,944 kg a la masa de los elementos necesarios para la realización de los ensayos y 8,393 kg a la masa de la estructura.

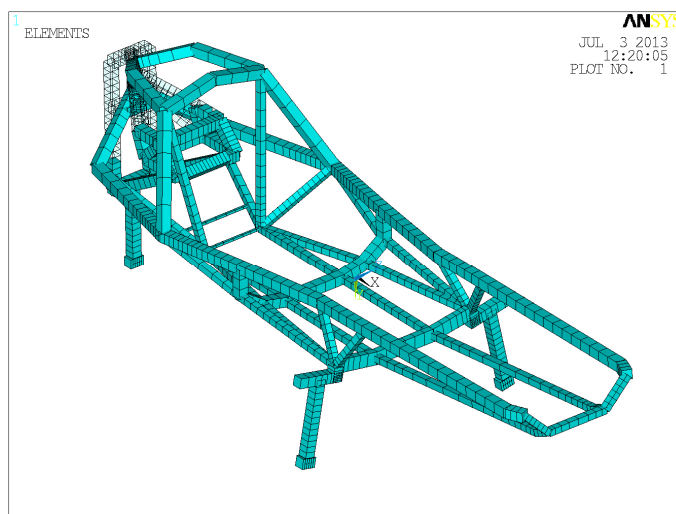


Figura 9.181. Representación isométrica del mallado de la estructura 1.4.

En la Tabla 9.164 se recogen los resultados de aplicar todos los ensayos a esta estructura. Obteniéndose que la estructura supera de forma clara los ensayos 1, 4, 4b, 5, 6b, 7, 8, 9 y 9b al localizarse su tensión máxima en la mitad de una barra o en una unión con un valor inferior a los 40 MPa. En el resto de ensayos hay que tener en cuenta que barras son continuas y que las tensiones no superan el límite elástico del material, 280 MPa, con lo que la estructura también supera dichos ensayos.

Por tanto, la estructura 1.4 es la versión definitiva de la estructura 1 y en los siguientes subapartados se muestran las representaciones de los diagramas de deformaciones y de tensiones en la estructura 1.4 para cada ensayo.

Ensayo	Medida	Valor	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Ensayo superado
1	Deformación máxima (mm)	5,778	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	43,191	1200	-238	262	
2	Deformación máxima (mm)	28,749	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	276,807	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	139,830	370	-170	690	
2b	Deformación máxima (mm)	26,281	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	280,088	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	131,472	370	170	690	
3	Deformación máxima (mm)	26,648	150	-110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	156,764	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	121,710	520	-300	410,2	
3b	Deformación máxima (mm)	28,184	150	-110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	156,764	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	118,442	520	300	410,2	
4	Deformación máxima (mm)	4,333	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	63,154	370	0	730	
4b	Deformación máxima (mm)	6,112	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	64,544	370	0	730	
5	Deformación máxima (mm)	3,490	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	43,643	1970	-180	410,2	
6	Deformación máxima (mm)	48,880	0	0	0	NO
	Tensión máxima (MPa)	258,885	1970	-180	410,2	
6b	Deformación máxima (mm)	3,301	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	44,569	370	0	290,4	
7	Deformación máxima (mm)	3,385	1970	100	330,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	47,289	370	0	290,4	
8	Deformación máxima (mm)	4,737	1970	0	330,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	47,792	370	0	290,4	
9	Deformación máxima (mm)	13,907	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	153,203	1200	0	240	
9b	Deformación máxima (mm)	9,674	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	103,239	800	0	250	

Tabla 9.164. Resultados de los ensayos para la estructura 1.4.

9.4.5.1. Ensayo 1 para la estructura 1.4:

La representación de la deformación de la estructura se realiza en la Figura 9.182.

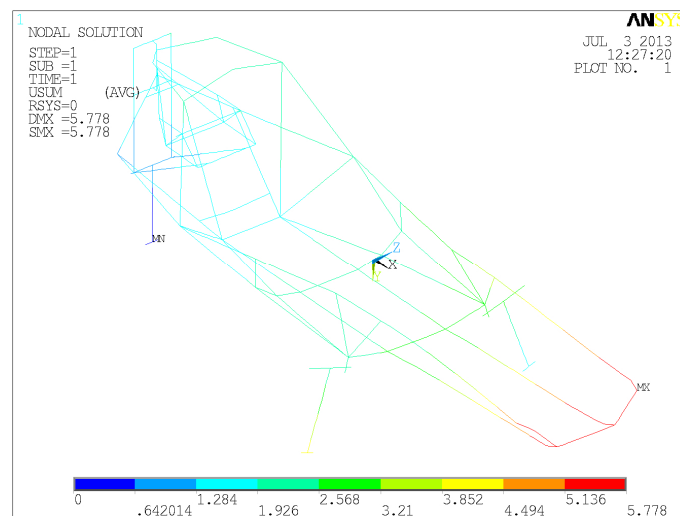


Figura 9.182. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 1.

Resultando que la mayor deformación es de 5,778 mm y se localiza en el extremo delantero izquierdo de la estructura, de forma congruente con las cargas y restricciones introducidas al modelo. Las tensiones equivalentes de Von Misses de la estructura 1.4 en el ensayo 1 se recogen en la Figura 9.183. Obteniéndose que la tensión máxima se localiza en la unión del eje con los soportes del mismo con un valor de 43,191 MPa.

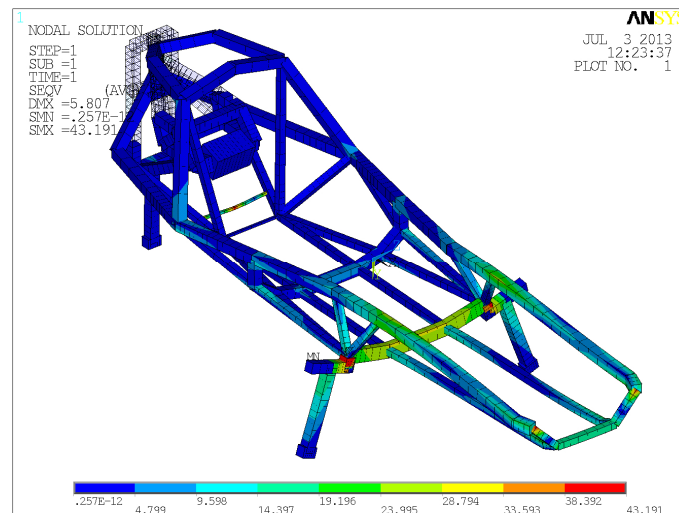


Figura 9.183. Tensiones de Von Misses para el ensayo 1 de la estructura 1.4.

9.4.5.2. Ensayo 2 para la estructura 1.4:

En la Figura 9.184 se representa la deformación de la estructura al someterse al ensayo 2.

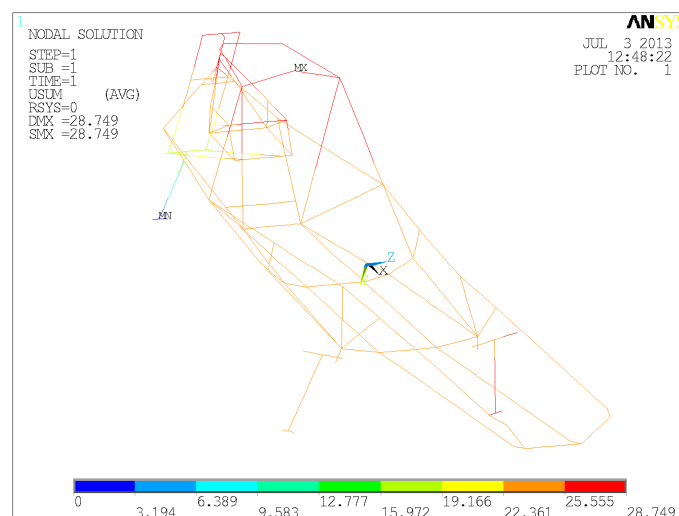


Figura 9.184. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 2.

Donde se aprecia que la deformación máxima es de 28,749 mm en el extremo superior del arco de seguridad.

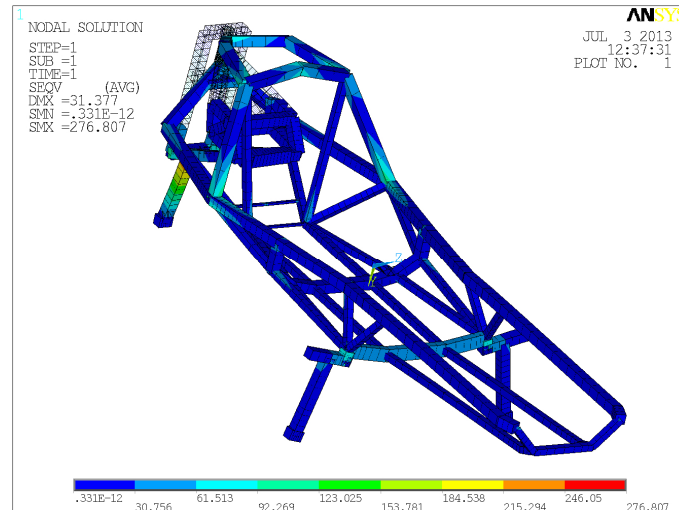


Figura 9.185. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2 de la estructura 1.4.

La representación de las tensiones equivalentes de Von Mises se puede apreciar en la Figura 9.185, siendo la tensión máxima en el ensayo de 276,807 MPa en el punto medio del eje de la rueda trasera y la tensión máxima en la estructura es de 139,830 MPa en el extremo superior derecho del arco de seguridad.

A fin de determinar las regiones en donde las tensiones son superiores a las admisibles se representan en la Figura 9.186 las tensiones limitadas a 40 MPa.

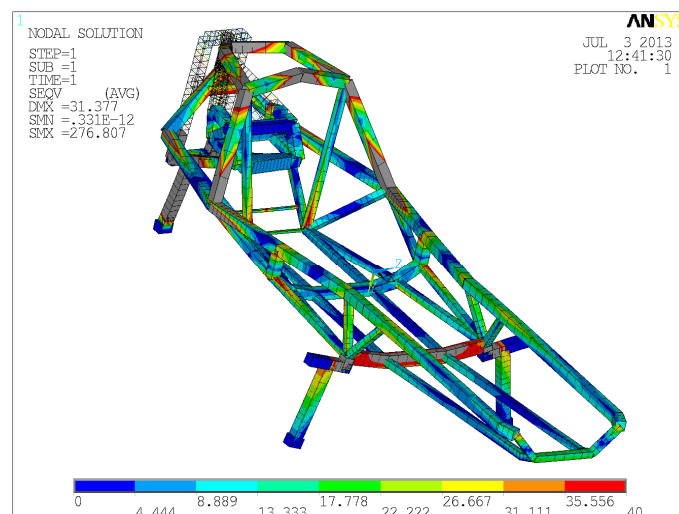


Figura 9.186. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2 de la estructura 1.4.

9.4.5.3. Ensayo 2b para la estructura 1.4:

Para el ensayo 2b de la estructura 1.4 las deformaciones sufridas por la estructura se aprecian en la Figura 9.187.

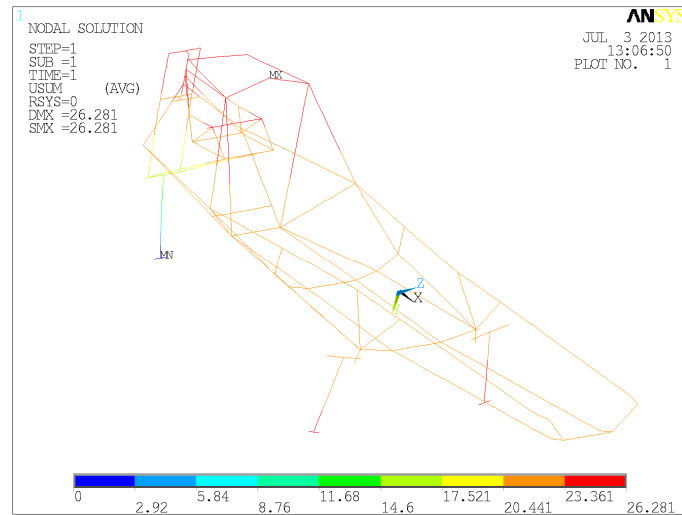


Figura 9.187. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 2b.

Obteniéndose que la deformación máxima que sufre la estructura es de 26,281 mm y se sitúa en el extremo superior del arco de seguridad de forma consistente con los resultados del mismo ensayo sobre las estructuras anteriores. En la Figura 9.188 se representan las tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura 1.4 para este ensayo.

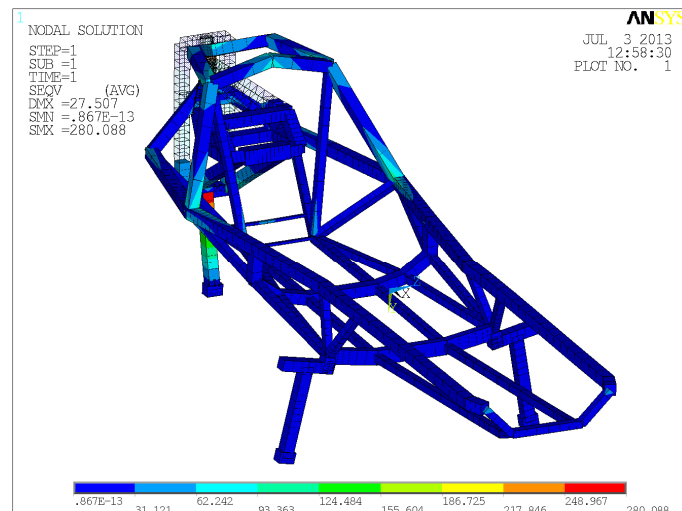


Figura 9.188. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2b de la estructura 1.4.

Resultando que la tensión máxima en el ensayo es de 280,088 MPa en el punto medio del eje de la rueda trasera y la tensión máxima en la estructura es de 131,472 MPa en el extremo superior izquierdo del arco de seguridad. A fin de mostrar más claramente que la estructura es válida se procede a representar en la Figura 9.189, las tensiones inferiores a 40 MPa.

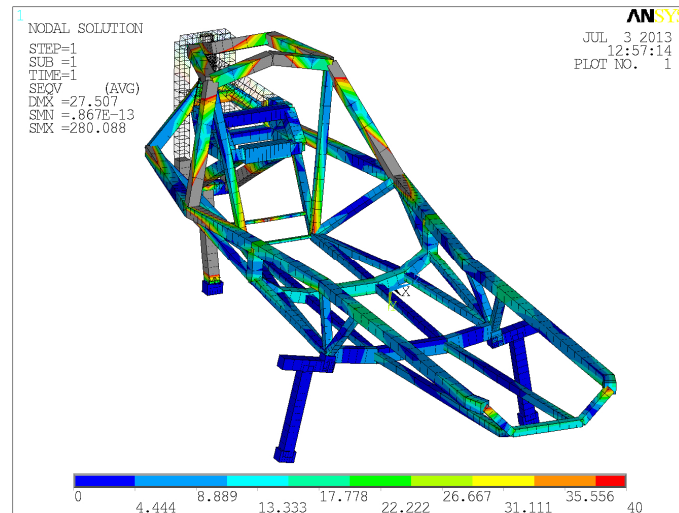


Figura 9.189. Tensiones de Von Mises limitada a 40 MPa para el ensayo 2b de la estructura 1.4.

9.4.5.4. Ensayo 3 para la estructura 1.4:

La deformada de la estructura 1.4 aplicado el ensayo 3 se representa en la Figura 9.190, siendo la deformación máxima de 26,648 mm y localizándose en la unión superior de la barra superior derecha que soporta el eje de giro.

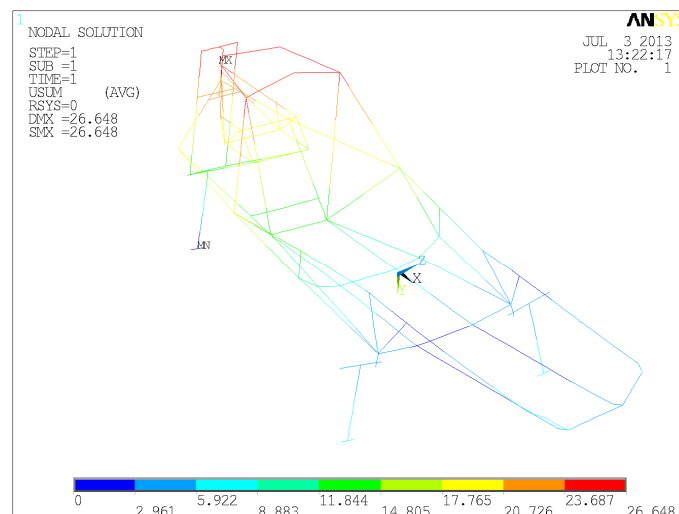


Figura 9.190. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 3.

En la Figura 9.191 se representan las tensiones equivalentes de Von Misses de la estructura.

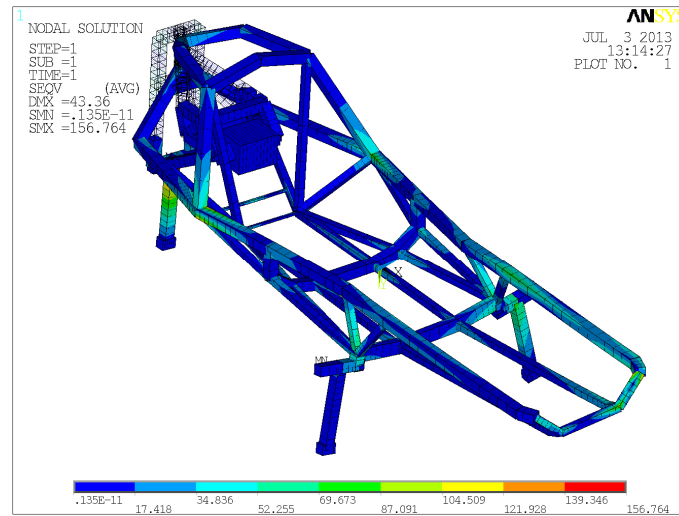


Figura 9.191. Tensiones de Von Misses para el ensayo 3 de la estructura 1.4.

Donde se aprecia que la tensión máxima en el ensayo es de 156,764 MPa en el punto medio del eje de la rueda trasera y la tensión máxima en la estructura toma un valor de 121,710 MPa situándose en la unión del arco de seguridad con el larguero superior derecho. Para verificar que la estructura es valida se representan en la Figura 9.192 las tensiones limitadas a 40 MPa.

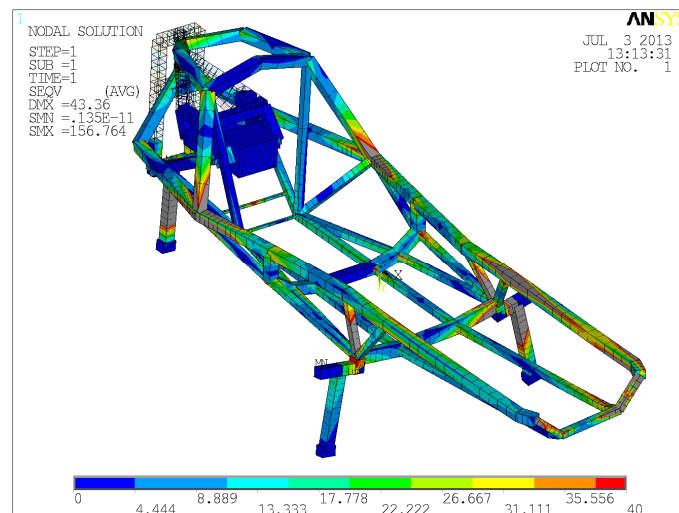


Figura 9.192. Tensiones de Von Misses limitadas a 40 MPa para el ensayo 3 de la estructura 1.4.

9.4.5.5. Ensayo 3b para la estructura 1.4:

Para el ensayo 3b la deformación de la estructura se puede apreciar en la Figura 9.193.

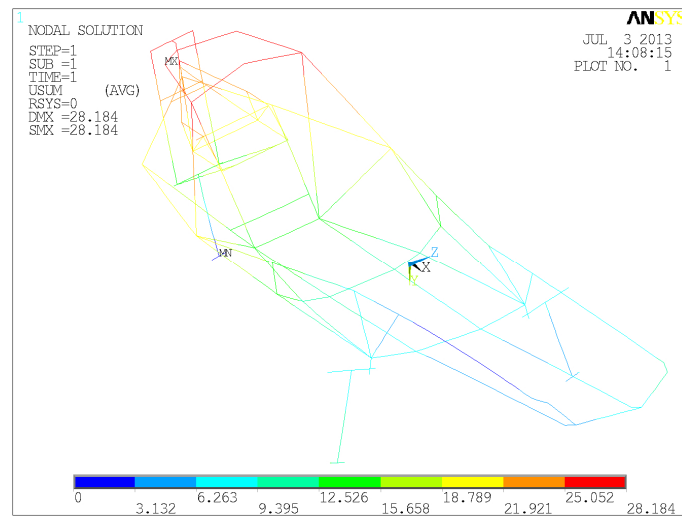


Figura 9.193. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 3b.

Obteniéndose que la deformación máxima es de 28,184 mm en la unión superior de la barra superior derecha que soporta el eje de giro. Las tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura se representan en la Figura 9.194.

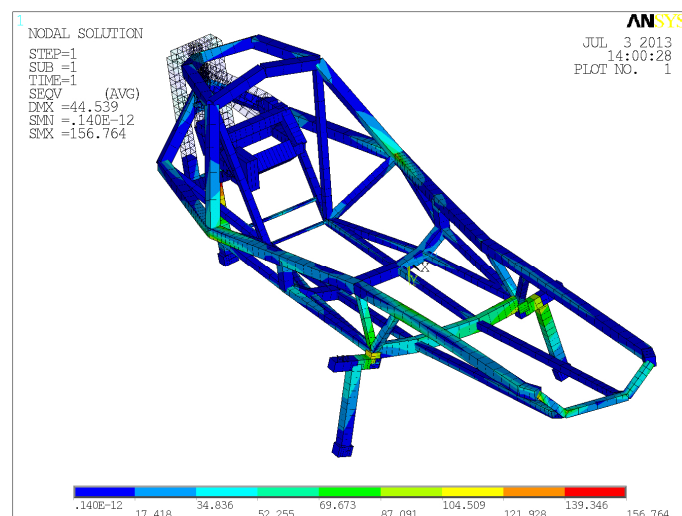


Figura 9.194. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3b de la estructura 1.4.

Estando la mayor tensión del ensayo localizada en el punto medio del eje de la rueda trasera alcanzando un valor de 156,764 MPa, siendo la tensión máxima en la estructura de 118,442 MPa en la unión del arco de seguridad con el larguero superior izquierdo. Para mostrar más claramente las zonas más tensionadas en este ensayo se representan las tensiones inferiores a 40 MPa en la Figura 9.195.

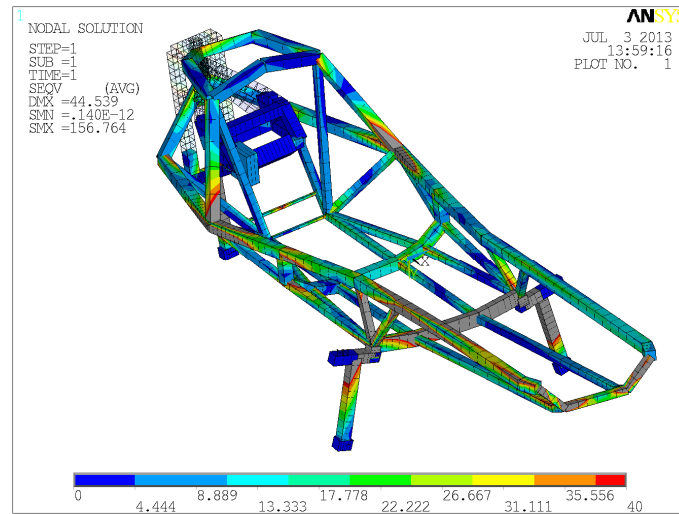


Figura 9.195. Tensiones de Von Misses limitadas a 40 MPa para el ensayo 3b de la estructura 1.4.

9.4.5.6. Ensayo 4 para la estructura 1.4:

En la Figura 9.196 se representan las deformaciones de la estructura al someterla a las cargas y restricciones de este ensayo.

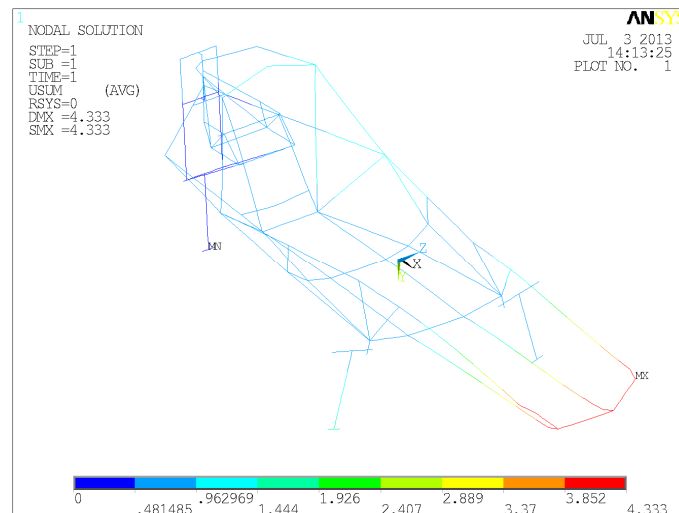


Figura 9.196. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 4.

Resultando que la deformación máxima es de 4,333 mm y se sitúa en el extremo delantero izquierdo de la estructura, como era esperable. En la Figura 9.197 se representan las tensiones equivalentes de Von Misses de la estructura, donde se aprecia que la tensión máxima es de 63,154 MPa y se localiza en el extremo superior del arco de seguridad.

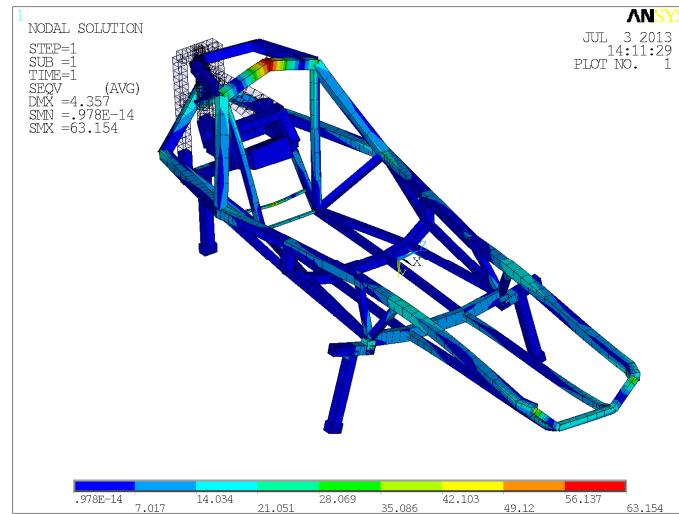


Figura 9.197. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4 de la estructura 1.4.

9.4.5.7. Ensayo 4b para la estructura 1.4:

En el ensayo 4b, la deformada de la estructura se representa en la Figura 9.198. Obteniéndose que la mayor deformación se localiza en el extremo delantero izquierdo de la estructura alcanzando un valor de 6,112 mm.

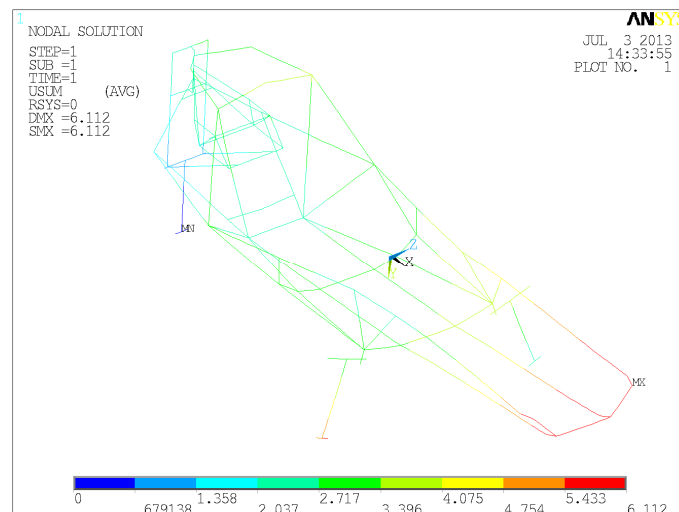


Figura 9.198. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 4b.

En la Figura 9.199 se pueden apreciar las tensiones equivalentes de Von Mises. Resultando que la tensión máxima de la estructura es de 64,544 MPa en el extremo superior del arco de seguridad.

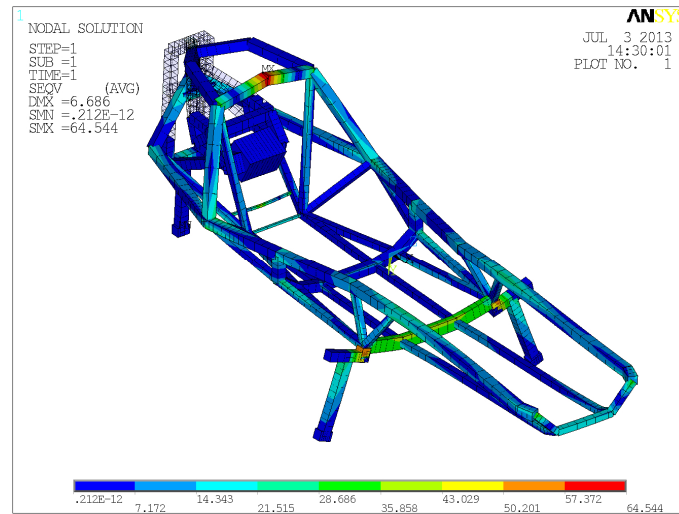


Figura 9.199. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4b de la estructura 1.4.

9.4.5.8. Ensayo 5 para la estructura 1.4:

Las deformaciones sufridas por la estructura 1.4 al ser sometida al ensayo 5 se aprecian en la Figura 9.200, Siendo la deformación máxima de 3,490 mm en el extremo delantero izquierdo de la estructura.

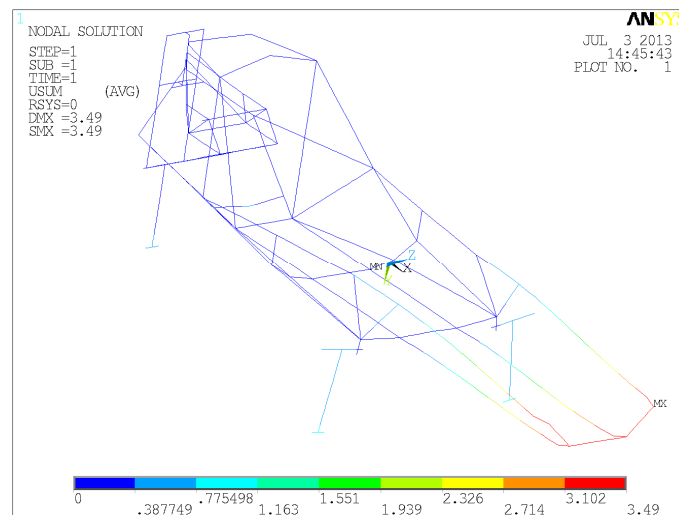


Figura 9.200. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 5.

Y las tensiones equivalentes de Von Mises se representan en la Figura 9.201. Obteniéndose que la mayor tensión se localiza en la unión del larguero superior derecho con la barra frontal alcanzado un valor de 43,643 MPa.

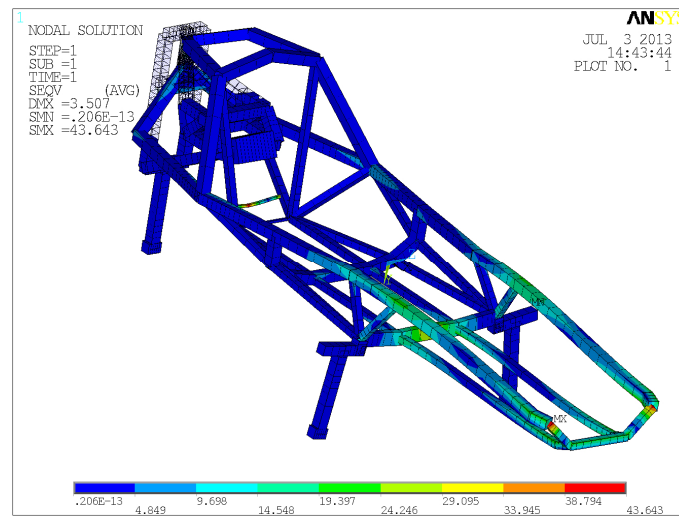


Figura 9.201. Tensiones de Von Mises para el ensayo 5 de la estructura 1.4.

9.4.5.9. Ensayo 6 para la estructura 1.4:

En la Figura 9.202 se puede apreciar la deformación de la estructura al aplicar el ensayo 6. La deformación máxima es de 48,880 mm en el punto de contacto de la rueda trasera con la calzada. Apareciéndose que la deformación sufrida por la estructura es coherente con las cargas y restricciones del ensayo.

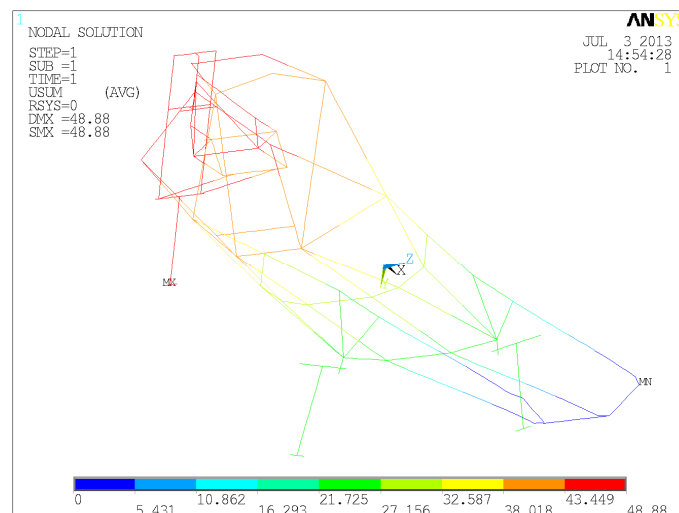


Figura 9.202. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 6.

Las tensiones de Von Mises se representan en la Figura 9.203, siendo la tensión máxima 258,885 MPa en la unión del larguero superior derecho con la barra frontal.

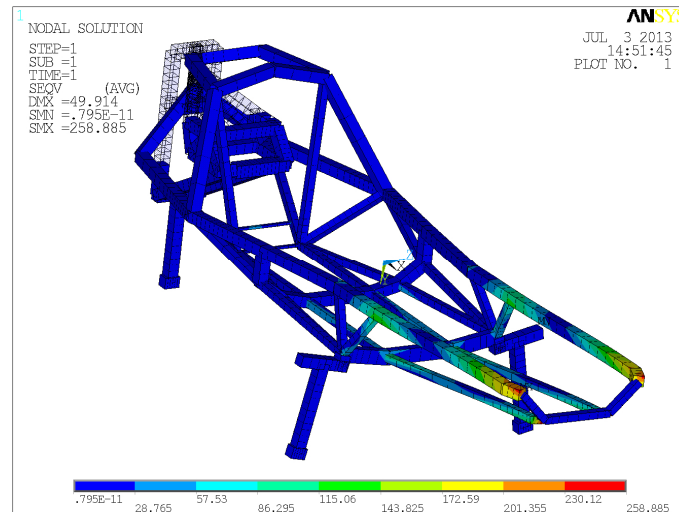


Figura 9.203. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6 de la estructura 1.4.

9.4.5.10. Ensayo 6b para la estructura 1.4:

La deformación de la estructura 1.4 al someterla al ensayo 6b se representa en la Figura 9.204. Resultando que la mayor deformación se localiza en el extremo delantero izquierdo de la estructura y tiene un valor de 3,301 mm.

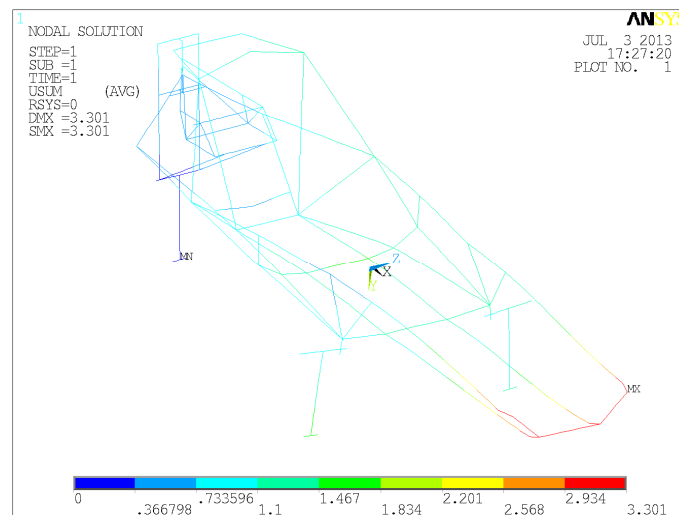


Figura 9.204. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 6b.

Las tensiones equivalentes de Von Mises correspondientes a este ensayo se aprecian en la Figura 9.205. Obteniéndose que la tensión máxima es de 44,569 MPa en el punto medio de la barra del extintor.

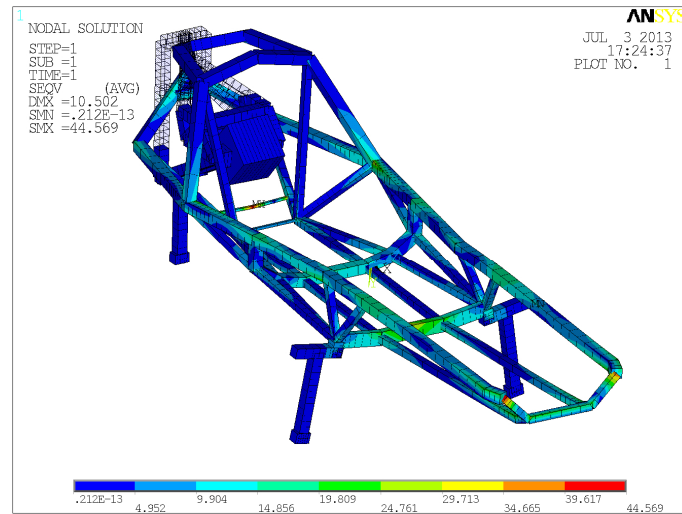


Figura 9.205. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6b de la estructura 1.4.

9.4.5.11. Ensayo 7 para la estructura 1.4:

Las deformaciones sufridas por la estructura 1.4 al aplicarle las cargas y restricciones de este ensayo se recogen en la Figura 9.206, siendo la deformación máxima de 3,385 mm en la unión de la barra frontal con el larguero inferior izquierdo.

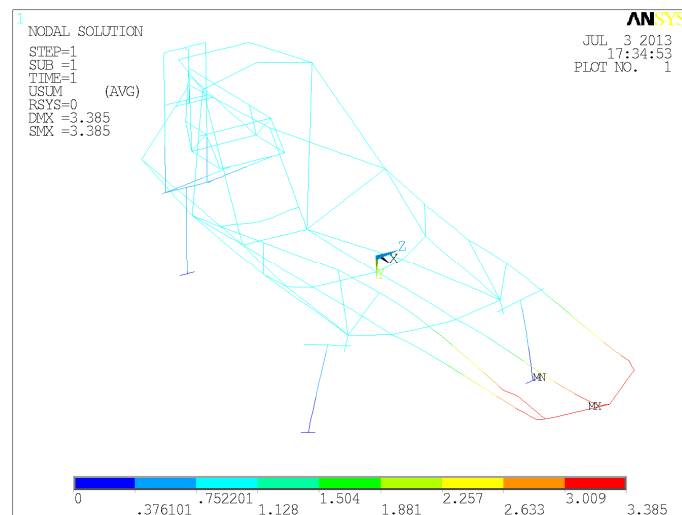


Figura 9.206. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 7.

Y las tensiones equivalentes de Von Mises se aprecian en la Figura 9.207, donde la mayor tensión de 47,289 MPa se localiza en el punto medio de la barra del extintor.

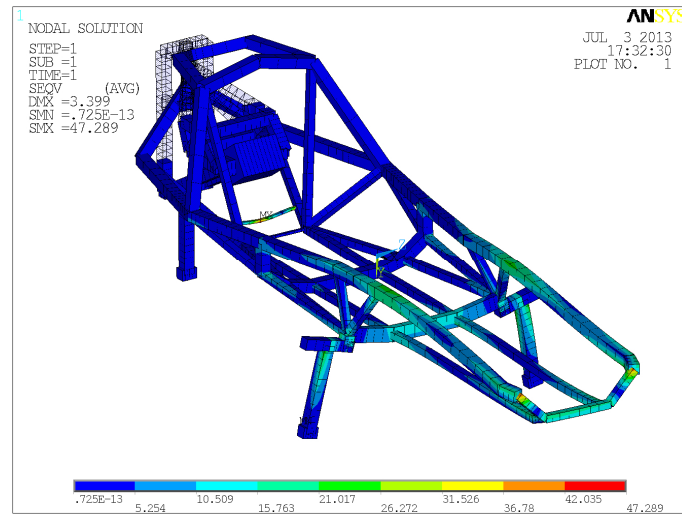


Figura 9.207. Tensiones de Von Mises para el ensayo 7 de la estructura 1.4.

9.4.5.12. Ensayo 8 para la estructura 1.4:

Para el ensayo 8, la deformación de la estructura 1.4 se recoge en la Figura 9.208, estando la mayor deformación de la estructura en el punto medio de la barra frontal alcanzando un valor de 4,737 mm.

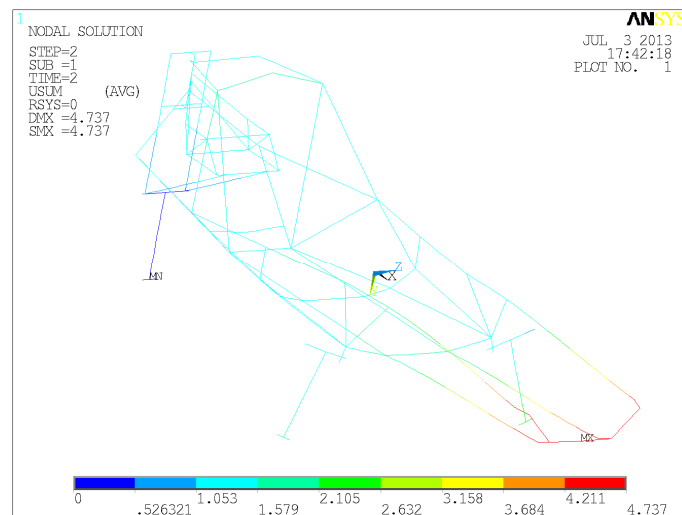


Figura 9.208. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 8.

Las tensiones equivalentes de Von Mises se recogen en la Figura 9.209, apreciándose que la tensión máxima es de 47,792 MPa en el punto medio de la barra del extintor.

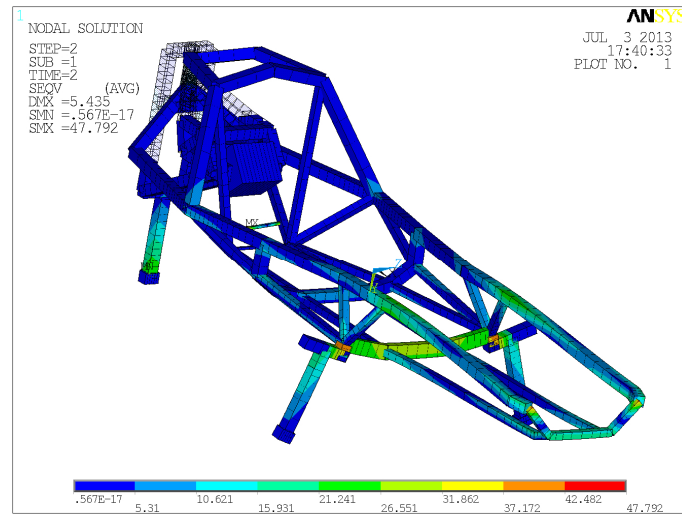


Figura 9.209. Tensiones de Von Mises para el ensayo 8 de la estructura 1.4.

9.4.5.13. Ensayo 9 para la estructura 1.4:

En la Figura 9.210 se representan las deformaciones de la estructura 1.4 para el ensayo 9, observándose que la mayor deformación es de 13,907 mm y se sitúa en el extremo delantero izquierdo de la estructura.

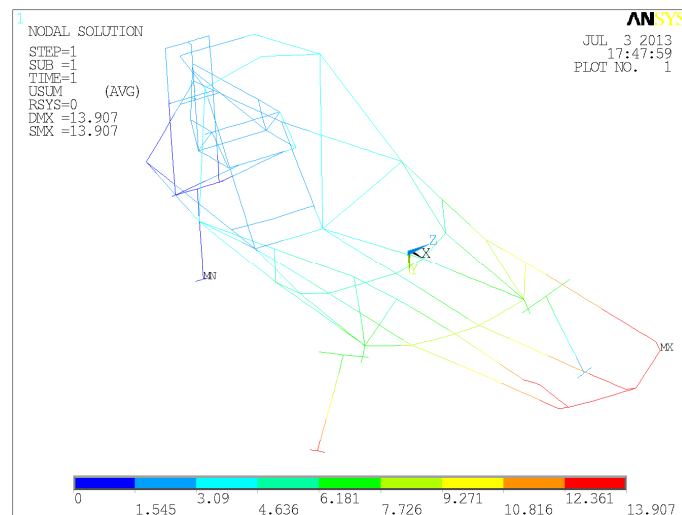


Figura 9.210. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 9.

En la Figura 9.211 se puede apreciar una representación de las tensiones equivalentes de Von Mises resultantes de aplicar el ensayo 9 a la estructura 1.4, resultando que la tensión máxima es de 153,203 MPa y se encuentra en el punto medio del eje.

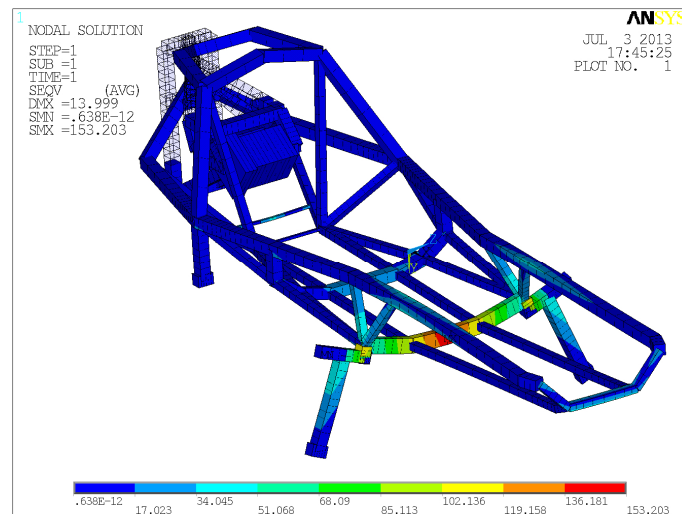


Figura 9.211. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9 de la estructura 1.4.

9.4.5.14. Ensayo 9b para la estructura 1.4:

La deformada de la estructura se puede apreciar en la Figura 9.212, apreciándose que la deformación máxima es de 9,674 mm en el extremo delantero izquierdo de la estructura.

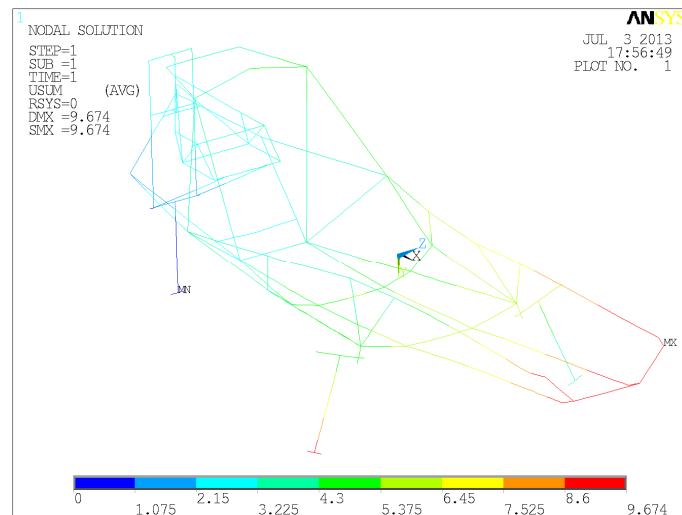


Figura 9.212. Deformaciones de la estructura 1.4 al someterse al ensayo 9b.

Y las tensiones equivalentes de Von Mises se representan en la Figura 9.213, obteniéndose que la tensión máxima se sitúa en el punto medio del travesaño tomando un valor de 103,239 MPa.

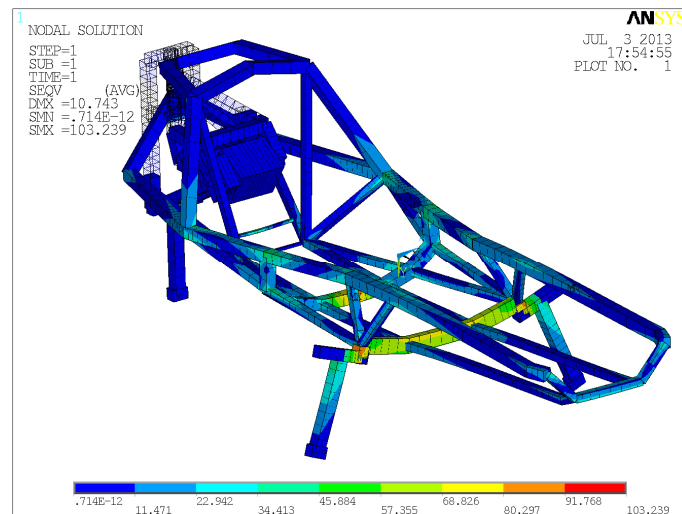


Figura 9.213. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9b de la estructura 1.4.

9.5. Análisis estructura 2

Una vez obtenida la versión definitiva de la estructura 1 se procede a repetir el proceso con la estructura 2. Por ello, en la primera estructura a analizar se emplean parte de los cambios que se realizaron a la estructura 1, es decir: inclinar la parte superior del arco de seguridad hacia delante y modificar la barra inferior, ampliar el travesaño hasta unirse con los largueros superiores y por último sustituir la barra del eje por dos barras paralelas. En la Figura 9.214 se puede apreciar una representación en planta de dicho modelo mallado con los cambios indicados, en la Figura 9.215 en perfil, en la Figura 9.216 en alzado y en la Figura 9.217 una representación isométrica.

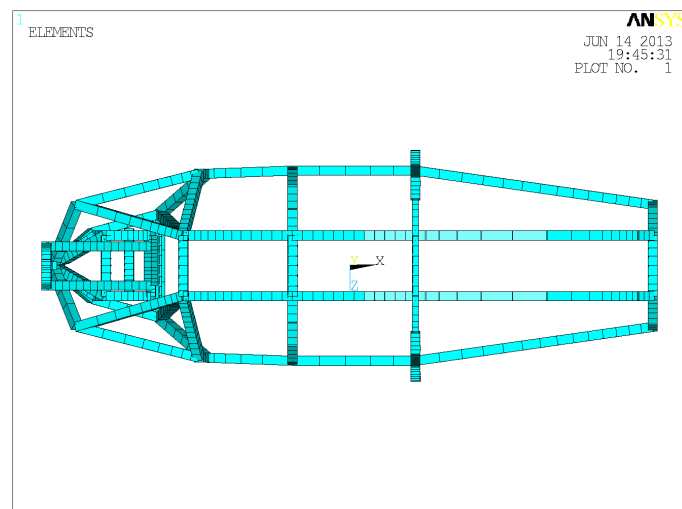


Figura 9.214. Representación en planta de la estructura 2.1 mallada.

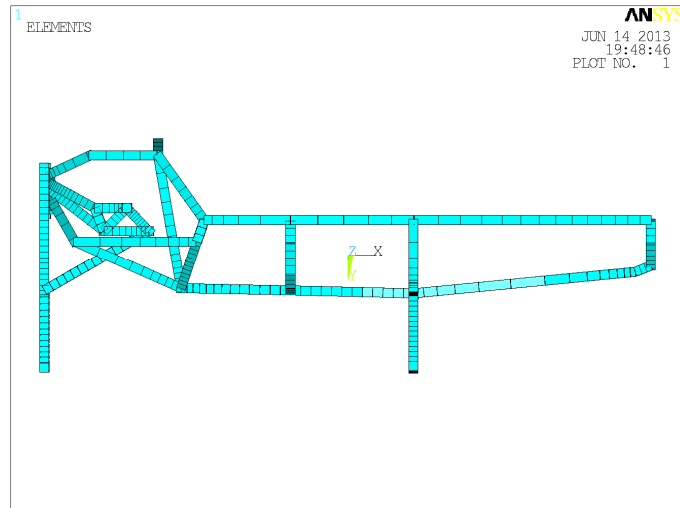


Figura 9.215. Representación en perfil de la estructura 2.1 mallada.

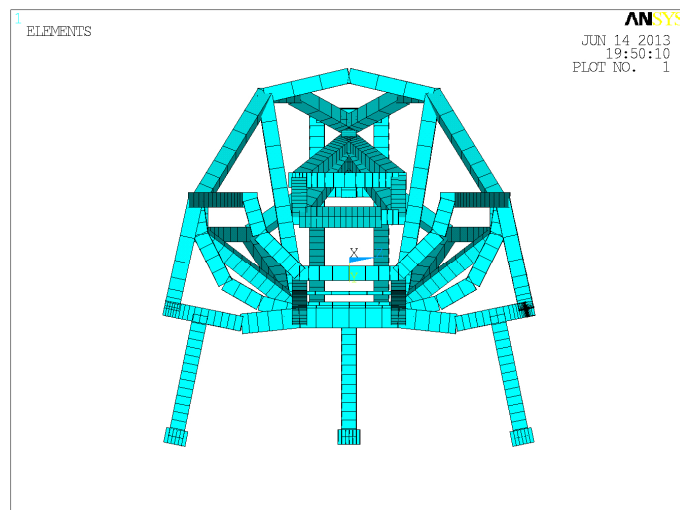


Figura 9.216. Representación en alzado de la estructura 2.1 mallada.

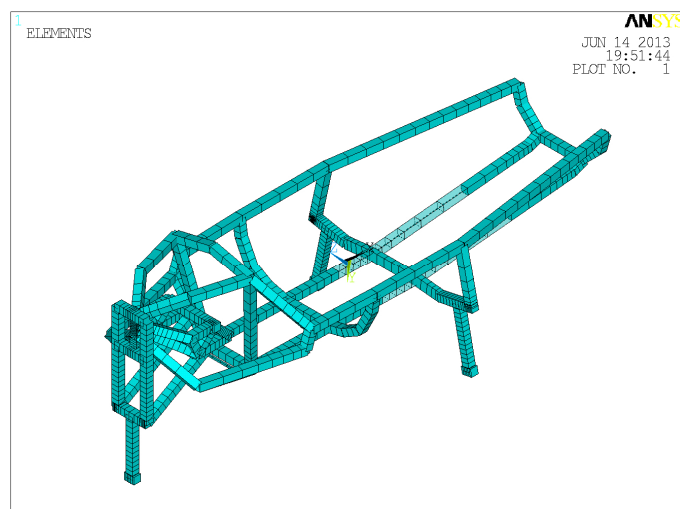


Figura 9.217. Representación isométrica de la estructura 2.1 mallada.



Siendo todas las barras menos el eje y la barra del extintor de diámetro 30 mm y 1 mm de espesor. Las barras que forman el eje son de 20 mm de diámetro y 1 mm de espesor, y la barra del extintor es de 7 mm diámetro y 1 mm de espesor. Además se considera, como en el caso de la estructura 1, que son continuas la barra frontal, los largueros superiores, los largueros inferiores con la salvedad de las uniones con el eje y con el travesaño, el eje, el travesaño, la parte superior del arco de seguridad y las barras superiores que soportan el eje vertical de giro.

9.5.1. Estructura 2.1:

Realizando los ensayos definidos en el apartado 9.3, se obtiene que la estructura 2.1 supera los ensayos 1, 5, 7 y 8 al ser las tensiones máximas en estos ensayos inferiores a la máxima admisible por el adhesivo, 40 MPa, definido en el apartado 8.9.1 o inferiores al límite elástico del material, elegido para la fabricación de las barras, 280 MPa, como se recoge en la Tabla 9.165.

Ensayo	Medida	Valor	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Ensayo superado
1	Deformación máxima (mm)	5,018	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	40,913	370	0	290,4	
2	Deformación máxima (mm)	33,989	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	277,888	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	214,998	20	0	550	
2b	Deformación máxima (mm)	30,819	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	278,831	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	194,844	20	0	550	
3	Deformación máxima (mm)	30,230	0	65	650	NO
	Tensión máxima (MPa)	178,845	20	0	550	
3b	Deformación máxima (mm)	31,645	150	-110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	195,219	520	-300	480	
4	Deformación máxima (mm)	3,894	1970	200	480	NO
	Tensión máxima (MPa)	60,376	20	0	550	
4b	Deformación máxima (mm)	5,148	1970	200	480	NO
	Tensión máxima (MPa)	64,020	520	-300	480	
5	Deformación máxima (mm)	2,781	1970	-200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	40,916	370	0	290,4	
6	Deformación máxima (mm)	39,359	0	0	0	NO
	Tensión máxima (MPa)	179,794	1970	-100	330,2	
6b	Deformación máxima (mm)	7,393	1970	200	480	NO
	Tensión máxima (MPa)	78,358	1200	-100	240	
7	Deformación máxima (mm)	3,664	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	47,488	370	0	290,4	
8	Deformación máxima (mm)	4,355	1970	-200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	48,014	370	0	290,4	
9	Deformación máxima (mm)	11,622	1970	200	480	NO
	Tensión máxima (MPa)	135,731	1200	0	240	
9b	Deformación máxima (mm)	7,745	1970	200	480	NO
	Tensión máxima (MPa)	90,015	215	-100	123	

Tabla 9.165. Resultados de los ensayos para la estructura 2.1.

Indicándose en la tabla la localización de los puntos en los que se producen las tensiones o deformaciones máximas de la estructura 2.1 al ser sometida a las cargas y restricciones de los ensayos indicados. En caso de que en un ensayo las tensiones máximas se sitúen en zonas del modelo que no corresponden con la estructura, como son el sub-bastidor trasero o las ruedas del prototipo, se indican en la tabla las tensiones máximas en la estructura junto a su localización sobre la misma. Resultando que el modelo de la estructura alcanza una masa de 9,914 kg, correspondiendo 2,944 kg a la masa de los elementos necesarios para la realización de los ensayos y 6,970 kg a la masa de la estructura.

9.5.2. Estructura 2.2:

Debido a la falta de rigidez a torsión, la estructura 2.1 no ha superado la mayor parte de los ensayos. A fin de solucionar esta carencia se han añadido, a semejanza de la estructura 1, unos refuerzos laterales realizados en barras de diámetro 20 mm y 1 mm de espesor, entre el arco de seguridad y el eje. Por otro lado, al no estar muy solicitada la barra inferior del arco de seguridad se ha reducido su sección a diámetro 7 mm y 1 mm de espesor. Sin modificar las barras que se consideraban continuas en la estructura 2.1. Resultando que el modelo de la estructura alcanza una masa de 10,805 kg, correspondiendo 2,944 kg a la masa de los elementos necesarios para la realización de los ensayos y 7,861 kg a la masa de la estructura. En la Figura 9.218 se pueden apreciar estos cambios en el modelo mallado de la estructura 2.2 y en la Tabla 9.166 se recogen los resultados de la estructura 2.2 al aplicar los ensayos definidos en el apartado 9.3.

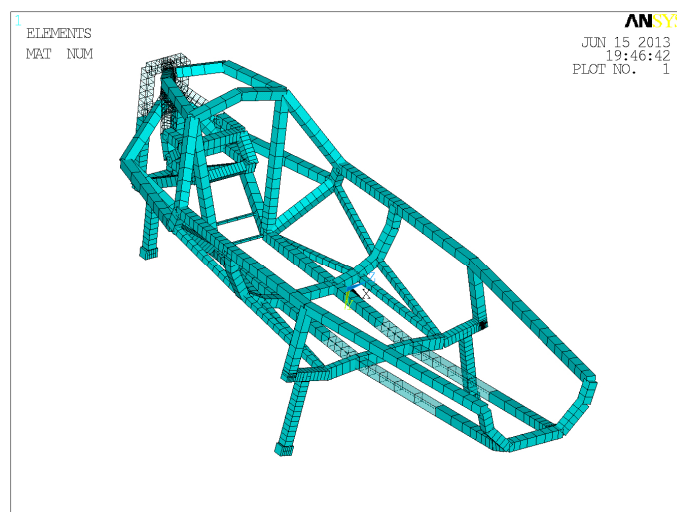


Figura 9.218. Representación isométrica del mallado de la estructura 2.2.

Ensayo	Medida	Valor	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Ensayo superado
1	Deformación máxima (mm)	4,572	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	41,149	370	0	290,4	
2	Deformación máxima (mm)	32,025	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	277,871	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	213,382	20	0	550	
2b	Deformación máxima (mm)	29,453	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	278,874	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	190,763	20	0	550	
3	Deformación máxima (mm)	25,966	0	65	650	NO
	Tensión máxima (MPa)	169,674	20	0	550	
3b	Deformación máxima (mm)	27,019	150	-110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	184,448	20	0	550	
4	Deformación máxima (mm)	4,056	1970	200	480	NO
	Tensión máxima (MPa)	62,436	20	0	550	
4b	Deformación máxima (mm)	4,166	1970	200	480	NO
	Tensión máxima (MPa)	61,136	370	0	730	
5	Deformación máxima (mm)	2,556	1970	-200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	40,774	370	0	290,4	
6	Deformación máxima (mm)	32,206	1970	100	330,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	171,268	1970	-100	330,2	
6b	Deformación máxima (mm)	6,290	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	60,349	1200	-100	240	
7	Deformación máxima (mm)	2,690	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	47,125	370	0	290,4	
8	Deformación máxima (mm)	3,923	1970	-200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	48,608	370	0	290,4	
9	Deformación máxima (mm)	11,019	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	132,085	1200	0	240	
9b	Deformación máxima (mm)	6,860	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	82,415	800	0	250	

Tabla 9.166. Resultados de los ensayos para la estructura 2.2.

Obteniéndose que la estructura supera los ensayos 1, 5, 6b, 7, 8, 9 y 9b al ser su tensión máxima menor a los 40 MPa, la soportada por el adhesivo, o menor a 280 MPa, límite elástico del material.

9.5.3. Estructura 2.3:

Al apreciarse al realizar los ensayos de la estructura 2.2 que una vez solucionado el problema de la falta de rigidez a torsión aparecen los mismos problemas de tensiones elevadas en las barras que soportan el eje vertical de giro que en las primeras versiones de la estructura 1 se ha decidido emplear la misma solución, es decir, las barras inferiores en contacto con el soporte del eje vertical pasan a ser barras de 30 mm de diámetro y 7,5 mm de espesor, y las barras superiores en contacto con el soporte del eje vertical pasan a ser barras de 30 mm de diámetro y 3 mm de espesor.

Además, para aumentar un poco más la resistencia a la torsión y distribuir mejor las cargas aplicadas sobre el arco de seguridad se han añadido unos refuerzos en la zona de la unión del arco de seguridad con los largueros superiores realizados en barras de diámetro 20 mm y 1 mm de espesor. Siendo las barras que se consideran continuas: la barra frontal, los largueros superiores, los largueros inferiores salvo las uniones con el eje y el travesaño, el eje, el travesaño y la parte superior del arco de seguridad.

En la Figura 9.219 se puede apreciar la representación de la estructura 2.3 mallada.

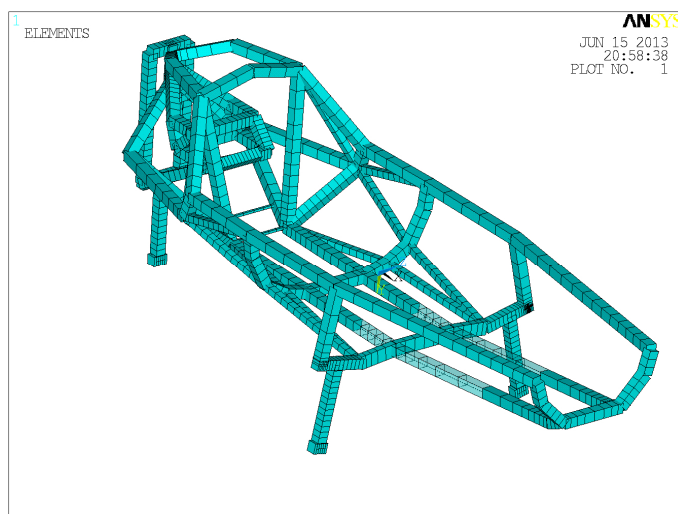


Figura 9.219. Representación isométrica del mallado de la estructura 2.3.

Teniendo en cuenta estas modificaciones el modelo de la estructura alcanza una masa de 12,796 kg, correspondiendo 2,944 kg a la masa de los elementos necesarios para la realización de los ensayos y 9,852 kg a la masa de la estructura.

Aplicando los ensayos definidos en el apartado 9.3 se obtiene que esta estructura supera directamente los ensayos 1, 4, 4b, 5, 6b, 7, 8, 9 y 9b al ser las tensiones máximas inferiores a las admisibles por el adhesivo o el material de las barras como se recogen en la Tabla 9.167. Y en el caso del resto de ensayos como la tensión más elevada se da en uniones en las que una de las barras es continua y son inferiores a 280 MPa, que es el límite elástico del material, se considera que la estructura también supera estos ensayos. Por tanto, en los siguientes subapartados se muestran los diagramas tensionales y las deformadas de la estructura 2.3 para cada ensayo.

Ensayo	Medida	Valor	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Ensayo superado
1	Deformación máxima (mm)	4,286	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	40,483	370	0	290,4	
2	Deformación máxima (mm)	25,354	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	277,725	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	116,611	370	-170	690	
2b	Deformación máxima (mm)	23,534	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	279,125	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	110,964	370	170	690	
3	Deformación máxima (mm)	20,085	150	110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	157,527	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	98,357	520	-300	480	
3b	Deformación máxima (mm)	21,080	150	-110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	157,960	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	97,870	520	300	480	
4	Deformación máxima (mm)	3,461	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	57,727	370	0	730	
4b	Deformación máxima (mm)	4,166	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	57,992	370	0	730	
5	Deformación máxima (mm)	2,468	1970	-200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	40,401	370	-122	290,4	
6	Deformación máxima (mm)	33,190	0	0	0	NO
	Tensión máxima (MPa)	179,090	1970	-100	330,2	
6b	Deformación máxima (mm)	6,440	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	62,144	1200	-100	240	
7	Deformación máxima (mm)	2,555	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	46,748	370	0	290,4	
8	Deformación máxima (mm)	3,616	1970	-200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	47,637	370	0	290,4	
9	Deformación máxima (mm)	10,612	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	130,202	1200	0	240	
9b	Deformación máxima (mm)	6,770	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	81,740	800	0	250	

Tabla 9.167. Resultados de los ensayos para la estructura 2.3.

9.5.3.1. Ensayo 1 para la estructura 2.3:

Las deformaciones sufridas por la estructura se representan en la Figura 9.220.

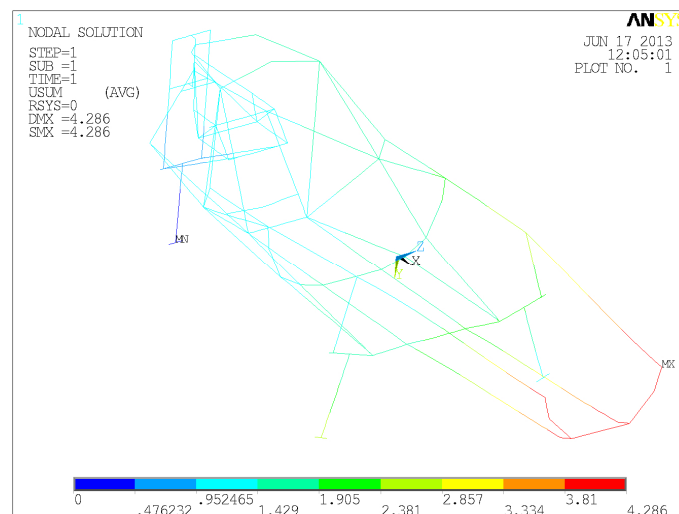


Figura 9.220. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 1.

Observándose que la deformación máxima es de 4,286 mm en el extremo delantero izquierdo de la estructura del prototipo, siendo dicha deformación coherente con el comportamiento esperado de la estructura. Las tensiones equivalentes de Von Mises para esta situación tensional se representan en la Figura 9.221. La tensión máxima es de 40,483 MPa en el punto medio de la barra que soporta el extintor. Además, en la Figura 9.221 se puede apreciar que en ningún otro punto de la estructura se superan los 40 MPa que admite el adhesivo seleccionado.

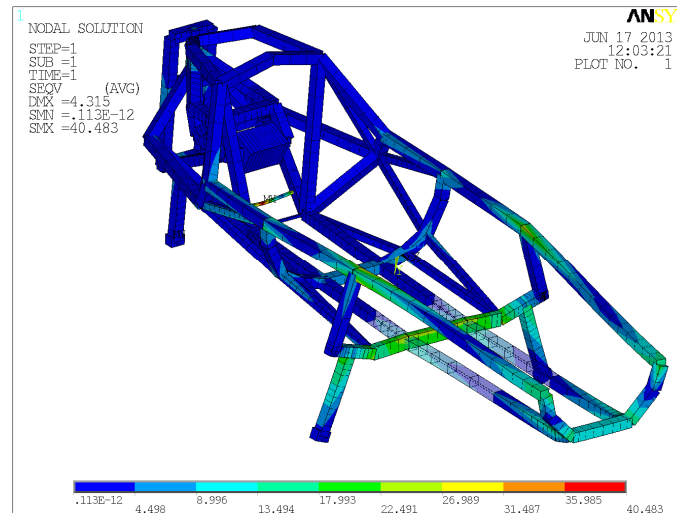


Figura 9.221. Tensiones de Von Mises para el ensayo 1 de la estructura 2.3.

9.5.3.2. Ensayo 2 para la estructura 2.3:

En la Figura 9.222 se aprecian las deformaciones de la estructura en este ensayo.

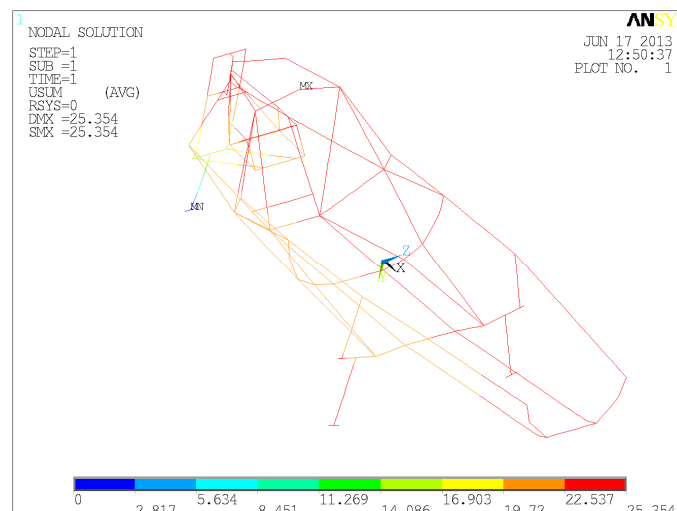


Figura 9.222. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 2.

Siendo la deformación máxima de 25,354 mm en el extremo superior del arco de seguridad. La distribución de tensiones de Von Mises se realiza en la Figura 9.223, siendo la tensión máxima de 277,725 MPa en el punto medio del eje de la rueda trasera, que al no ser parte de la estructura a calcular se omite obteniéndose que la mayor tensión en la estructura es 116,611 MPa en la unión superior derecha del arco de seguridad. A fin de localizar las regiones en que se superan los 40 MPa se han representado en la Figura 9.224 las tensiones en la estructura inferiores a 40 MPa.

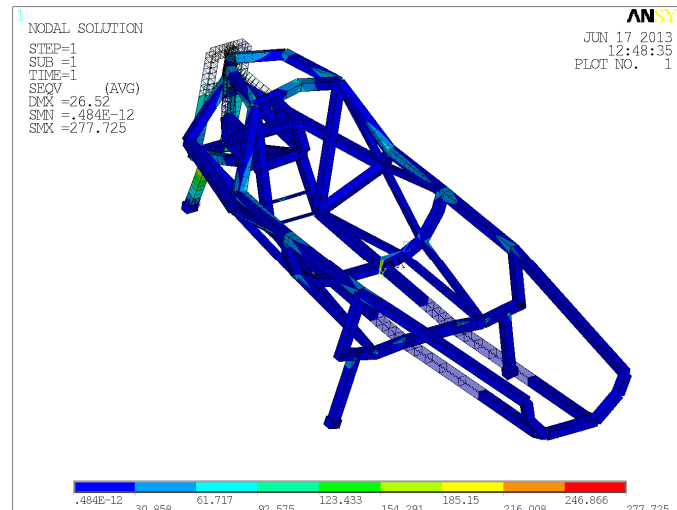


Figura 9.223. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2 de la estructura 2.3

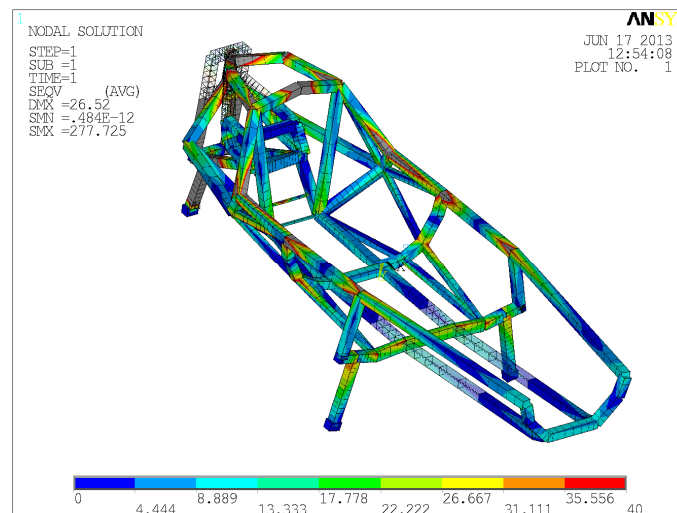


Figura 9.224. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2 de la estructura 2.3.

9.5.3.3. Ensayo 2b para la estructura 2.3:

Para el ensayo 2b de la estructura 2.3 la deformación se representa en la Figura 9.225.

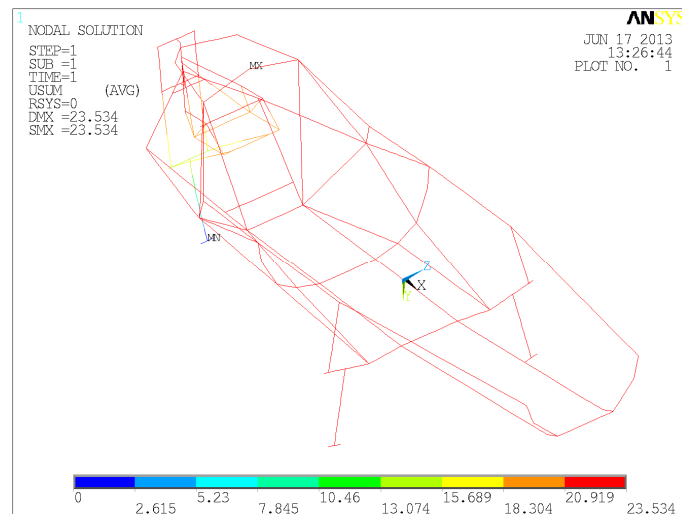


Figura 9.225. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 2b.

La deformación máxima es de 23,534 mm y se localiza en el extremo superior del arco de seguridad, coincidiendo con el punto de aplicación de la carga. Y la distribución de tensiones equivalentes de Von Mises se representa en la Figura 9.226.

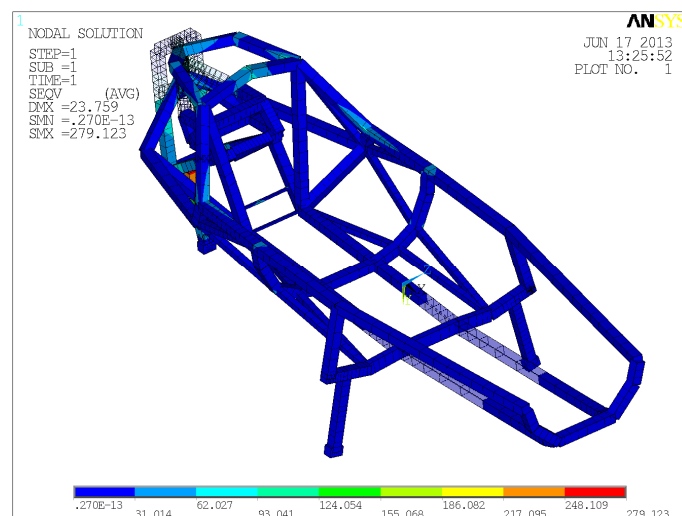


Figura 9.226. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2b de la estructura 2.3.

Siendo la tensión máxima en el ensayo de 279,125 MPa en el punto medio del eje de la rueda trasera. Y de 110,964 MPa en la estructura del prototipo en la unión superior izquierda del arco de seguridad. Para determinar las zonas de la estructura en donde se superan los 40 MPa admisibles por el adhesivo seleccionado se ha representado las tensiones inferiores a dicho valor en la Figura 9.227.

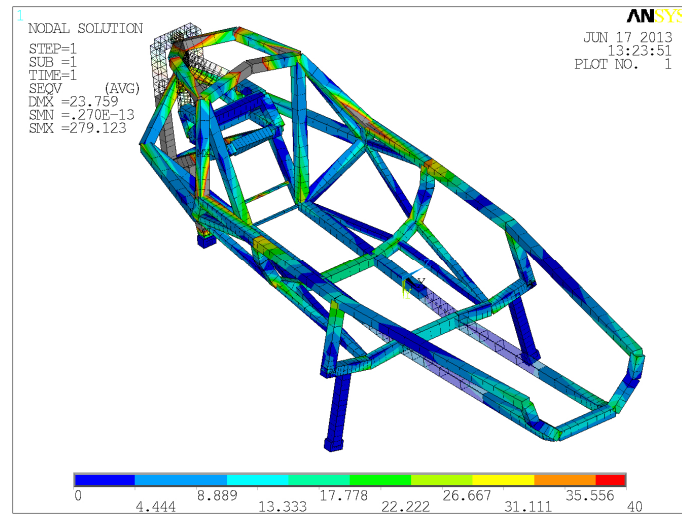


Figura 9.227. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2b de la estructura 2.3.

9.5.3.4. Ensayo 3 para la estructura 2.3:

En la Figura 9.228 se representa la deformación de la estructura al realizar el ensayo 3.

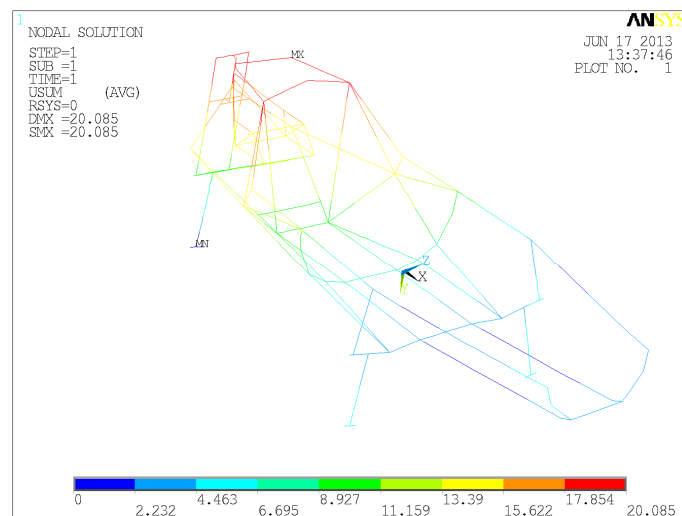


Figura 9.228. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 3.

Resultando que la deformación máxima se localiza en la unión intermedia del soporte superior trasero izquierdo del eje de giro alcanzando un valor de 20,085 mm. En la Figura 9.229 se representa la distribución de tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura 2.3.

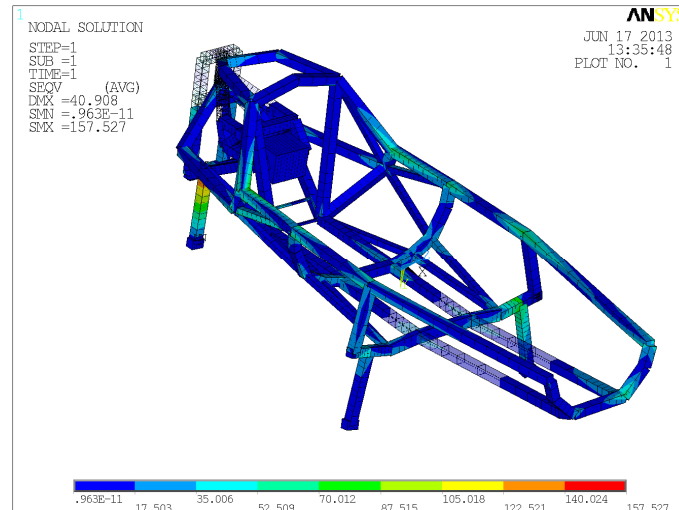


Figura 9.229. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3 de la estructura 2.3.

Siendo la mayor tensión en el ensayo 157,527 MPa que se sitúa en el punto medio del eje de la rueda trasera. La tensión máxima en la estructura es de 98,357 MPa y se localiza en la unión del arco de seguridad con el larguero superior derecho. A fin de determinar todas las uniones que superan las tensiones admisibles por el adhesivo seleccionado se ha procedido a representar las tensiones inferiores a 40 MPa en la Figura 9.230.

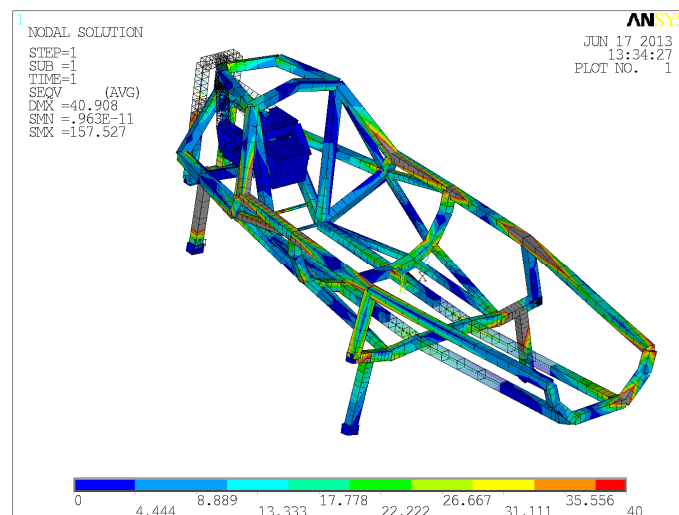


Figura 9.230. Tensiones de Von Mises limitada a 40 MPa para el ensayo 3 de la estructura 2.3.

9.5.3.5. Ensayo 3b para la estructura 2.3:

La representación de la deformación de la estructura 2.3 al someterla a las tensiones y restricciones del ensayo 3b se puede apreciar en la Figura 9.231.

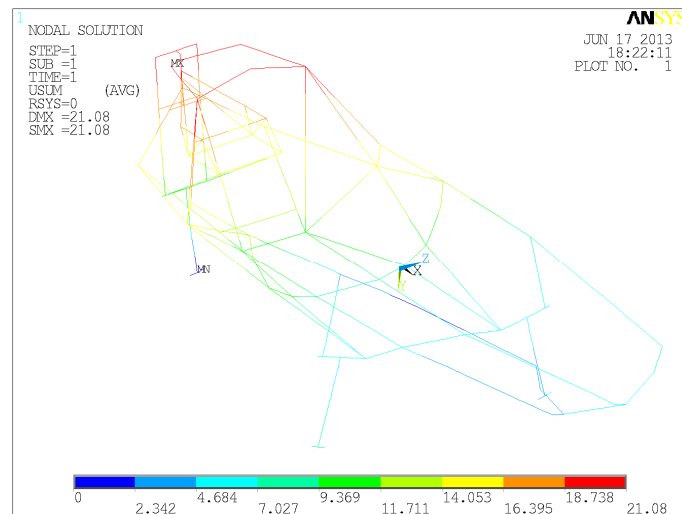


Figura 9.231. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 3b.

Observándose que la deformación máxima se sitúa en la unión intermedia del soporte superior trasero derecho del eje de giro alcanzando un valor de 21,080 mm. La representación de las tensiones equivalentes de Von Mises se realiza en la Figura 9.232.

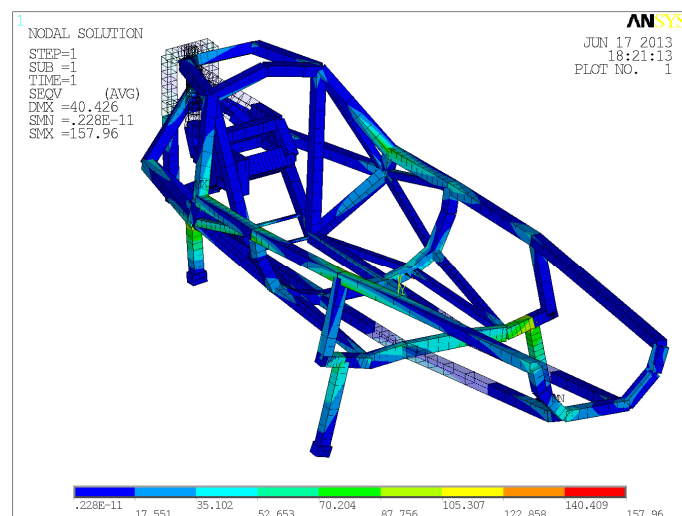


Figura 9.232. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3b de la estructura 2.3.

Donde la tensión máxima en el ensayo es de 157,960 MPa en el punto medio del eje de la rueda trasera. Y la tensión máxima en la estructura es de 97,870 MPa en la unión del arco de seguridad con el larguero superior izquierdo. A fin de verificar que todas las uniones se encuentran tensionadas por debajo de los 40 MPa, se ha procedido a representar en la Figura 9.233 las tensiones inferiores a 40 MPa.

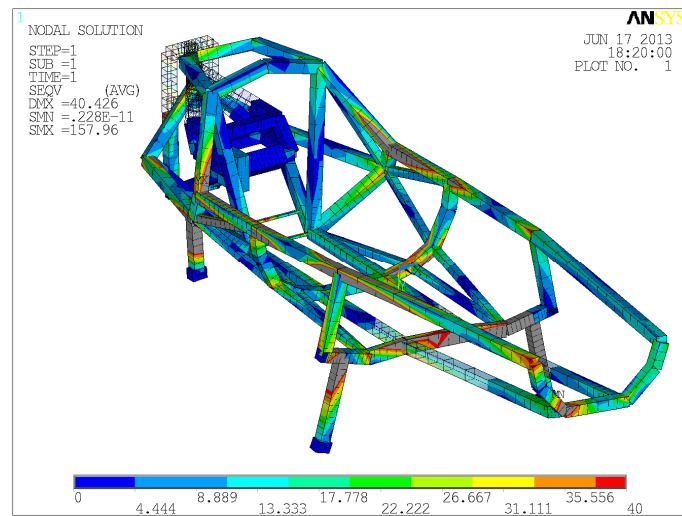


Figura 9.233. Tensiones de Von Misses limitadas a 40 MPa para el ensayo 3b de la estructura 2.3.

9.5.3.6. Ensayo 4 para la estructura 2.3:

En la Figura 9.234 se representa la deformación de la estructura al aplicarse las condiciones del presente ensayo.

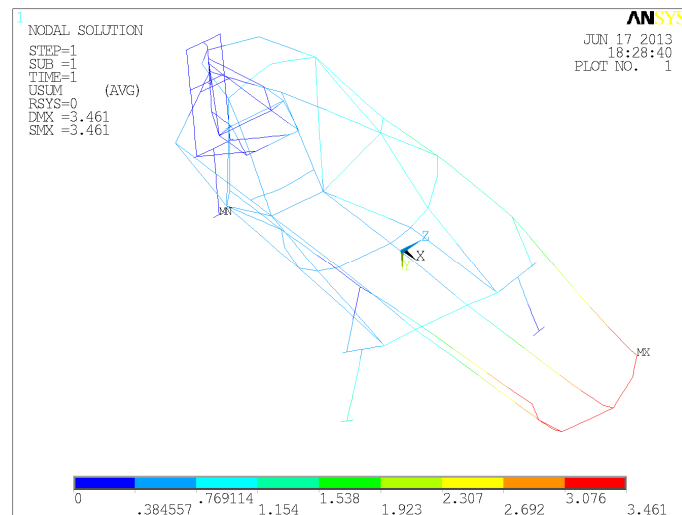


Figura 9.234. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 4.

Como se puede apreciar, la deformación máxima se localiza en el extremo delantero izquierdo de la estructura y toma un valor de 3,461 mm, siendo este resultado coherente con las cargas y restricciones aplicadas. La representación de las tensiones equivalentes de Von Misses se realiza en la Figura 9.235. Resultando que la tensión máxima es de 57,727 MPa y se sitúa en el extremo

superior del arco de seguridad. En la Figura 9.236 se representan las tensiones hasta 40 MPa confirmando que la estructura 2.3 supera este ensayo.

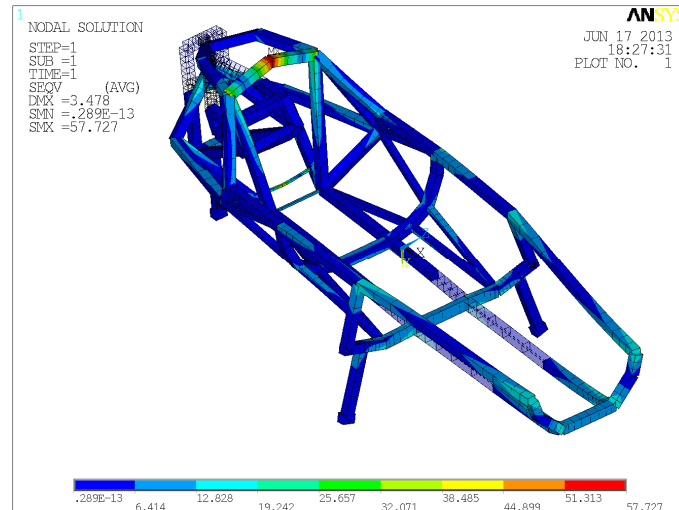


Figura 9.235. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4 de la estructura 2.3.

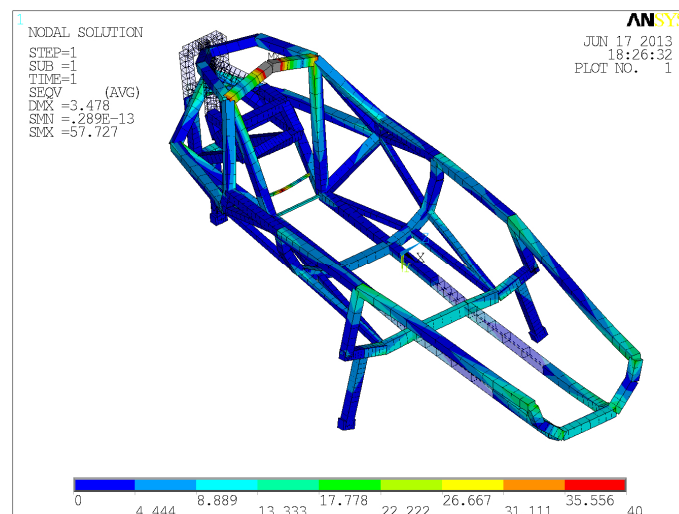


Figura 9.236. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 4 de la estructura 2.3.

9.5.3.7. Ensayo 4b para la estructura 2.3:

En el ensayo 4b, la deformación de la estructura se representa en la Figura 9.237, su valor máximo es de 4,166 mm en el extremo delantero izquierdo de la estructura. En la Figura 9.238 se aprecian las tensiones equivalentes de Von Mises para este ensayo, siendo la tensión máxima de 57,992 MPa en el extremo superior del arco de seguridad. Para apreciar mejor los resultados y que la estructura es válida se representan las tensiones menores a 40 MPa en la Figura 9.239.

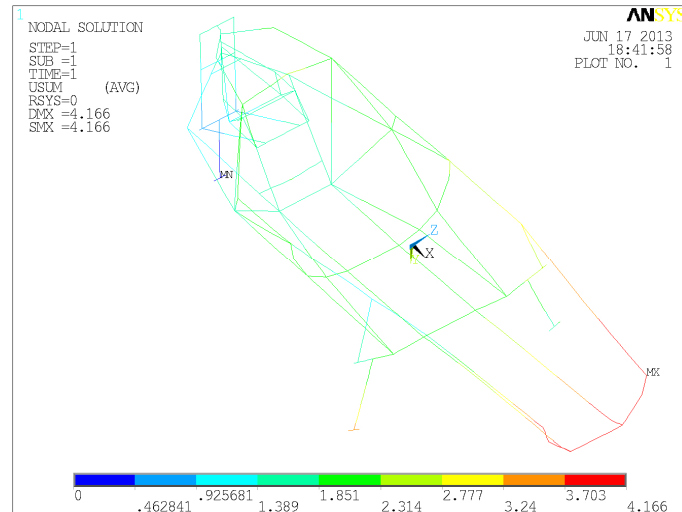


Figura 9.237. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 4b.

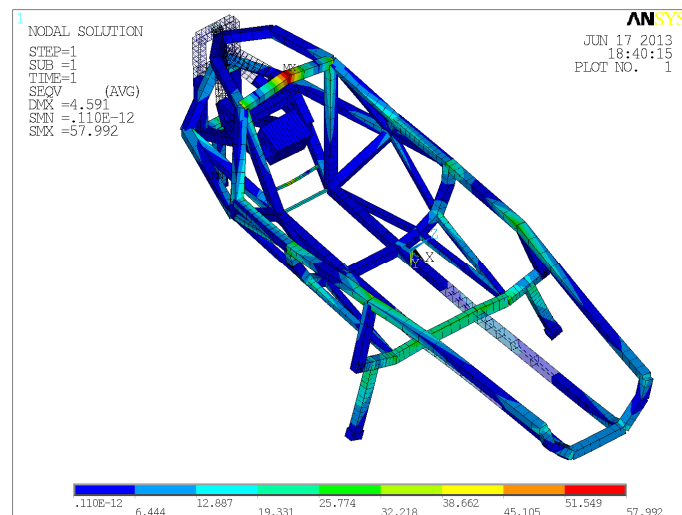


Figura 9.238. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4b de la estructura 2.3.

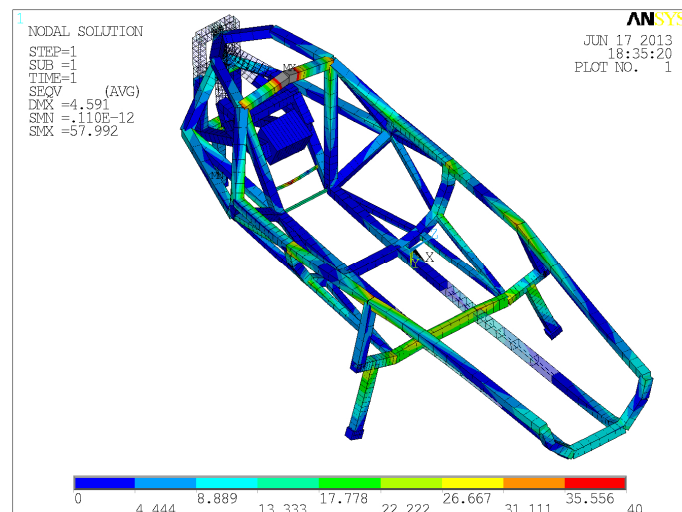


Figura 9.239. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 4b de la estructura 2.3.

9.5.3.8. Ensayo 5 para la estructura 2.3:

La deformación sufrida por la estructura 2.3 al someterla a este ensayo se puede apreciar en la Figura 9.240. La deformación máxima se localiza en el extremo delantero derecho alcanzando un valor de 2,468 mm y la deformada es coherente con las restricciones aplicadas a la estructura.

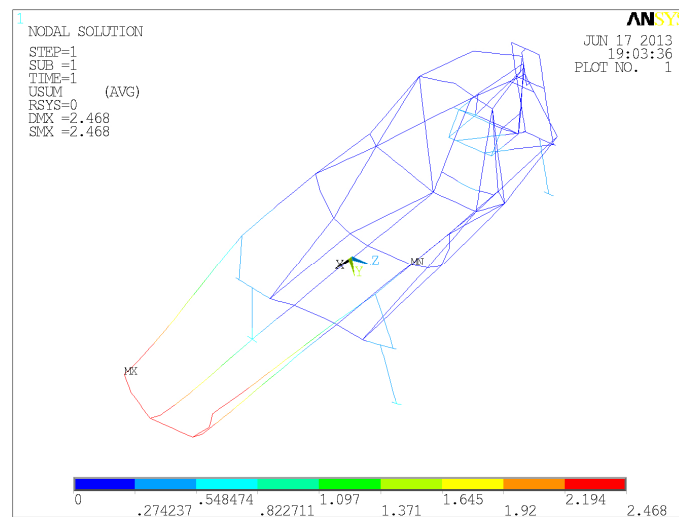


Figura 9.240. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 5.

Las tensiones equivalentes de Von Misses que presenta la estructura se recogen en la Figura 9.241. Resultando que la tensión máxima es de 40,401 MPa y se produce en el extremo derecho de la barra que soporta el extintor, por lo que la estructura supera el análisis.

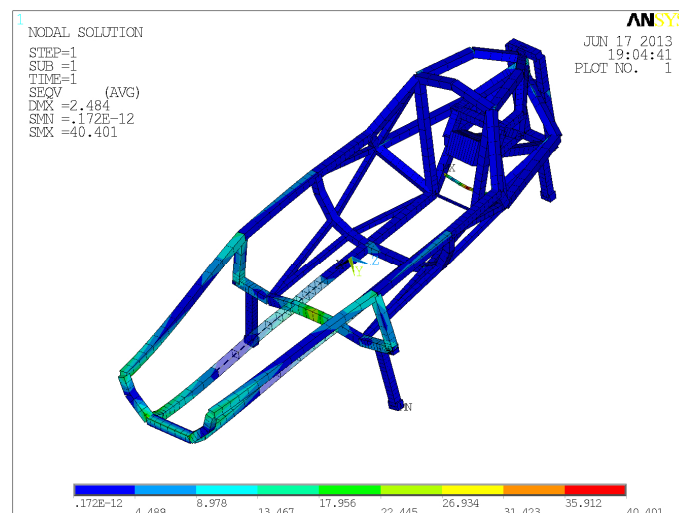


Figura 9.241. Tensiones de Von Misses para el ensayo 5 de la estructura 2.3.

9.5.3.9. Ensayo 6 para la estructura 2.3:

En la Figura 9.242 se representa la deformada de la estructura 2.3 sometida al ensayo 6. Apreciándose que la deformación máxima se localiza en el punto de contacto de la rueda trasera con el suelo y toma un valor de 33,190 mm. Este resultado es coherente con las cargas y las restricciones introducidas al modelo de elementos finitos, ya que en este ensayo se representa una colisión frontal con lo que las mayores deformaciones es lógico encontrarlas en el punto más alejado del punto de impacto debido a la forma en que se ha coaccionado al modelo. Las tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura 2.3 para el ensayo 6 se representan en la Figura 9.243.

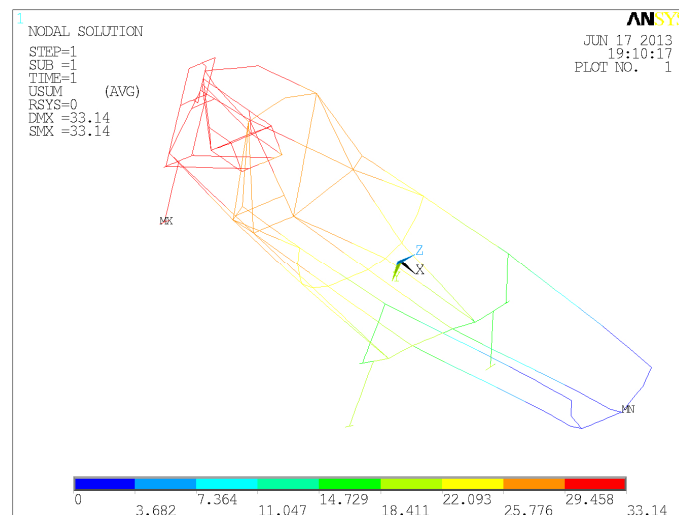


Figura 9.242. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 6.

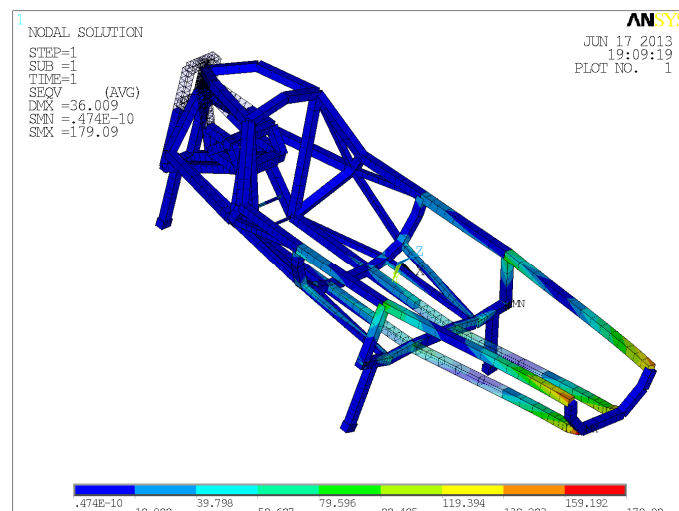


Figura 9.243. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6 de la estructura 2.3.

Obteniéndose una tensión máxima de 179,090 MPa en la unión de los largueros con la barra frontal, como es una tensión principalmente de compresión y además se localiza en los alrededores del empotramiento se considera que la estructura supera el ensayo ya que los puntos de interés en este ensayo son los correspondientes a los anclajes de los cinturones.

9.5.3.10. Ensayo 6b para la estructura 2.3:

La representación de la deformación de la estructura en este ensayo se realiza en la Figura 9.244, siendo la deformación máxima de 6,440 mm en el extremo delantero izquierdo de la estructura. En la Figura 9.245 se representan las tensiones equivalentes de Von Misses.

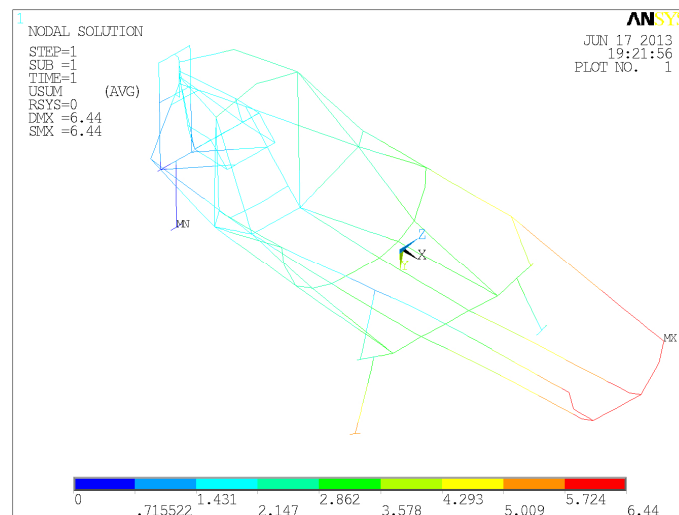


Figura 9.244. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 6b.

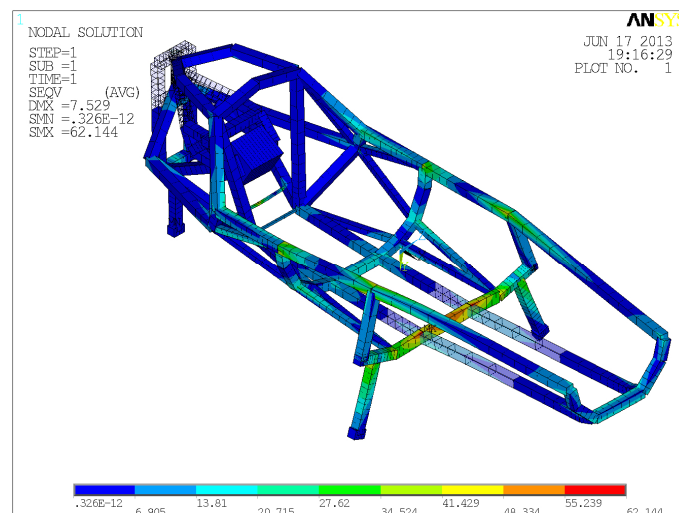


Figura 9.245. Tensiones de Von Misses para el ensayo 6b de la estructura 2.3.

Siendo la tensión máxima de 62,144 MPa en la unión del eje con el larguero inferior derecho. Para determinar las otras zonas de la estructura donde se producen tensiones superiores a los 40 MPa que admite el adhesivo, se han representado las tensiones hasta 40 MPa en la Figura 9.246.

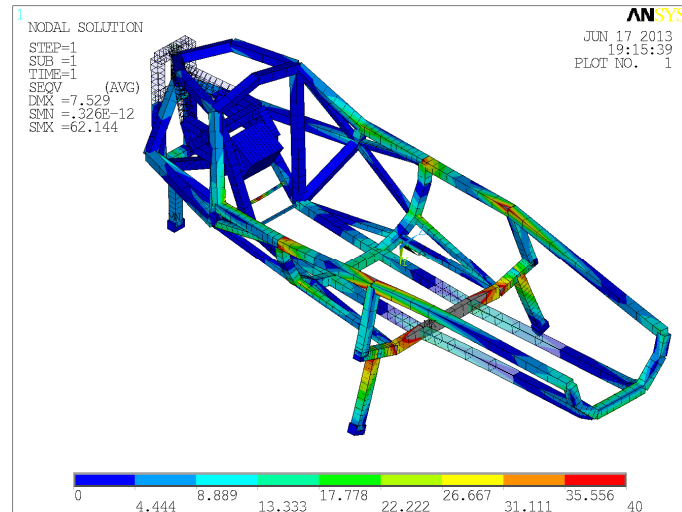


Figura 9.246. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 6b de la estructura 2.3.

9.5.3.11. Ensayo 7 para la estructura 2.3:

En el ensayo 7, las deformaciones sufridas por la estructura 2.3 se representan en la Figura 9.247.

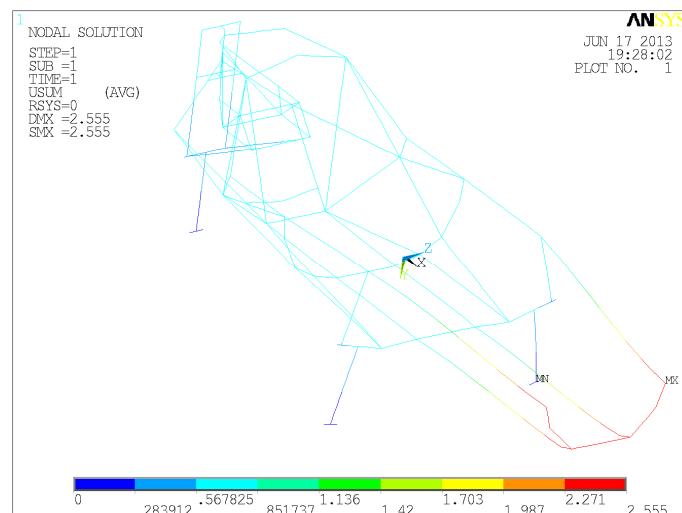


Figura 9.247. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 7.

Resultando que la mayor deformación se produce en el extremo delantero izquierdo con un valor de 2,555 mm.

Y la representación de las tensiones equivalentes de Von Mises se realiza en la Figura 9.248. Apreciándose que la tensión máxima se localiza en el punto medio de la barra del extintor alcanzado un valor de 46,748 MPa.

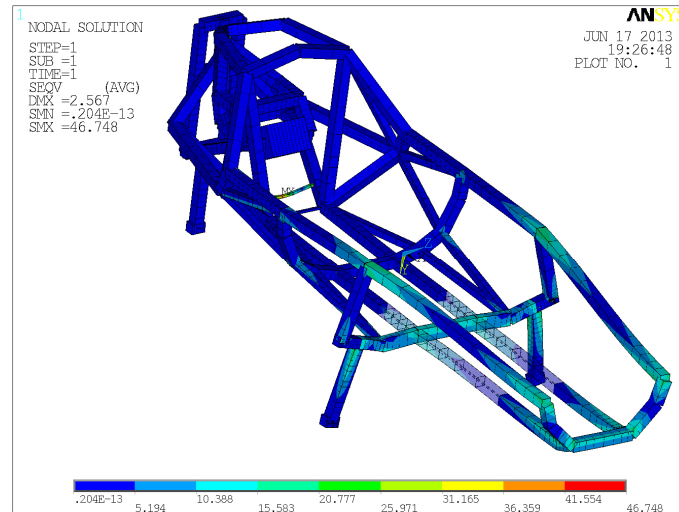


Figura 9.248. Tensiones de Von Mises para el ensayo 7 de la estructura 2.3.

9.5.3.12. Ensayo 8 para la estructura 2.3:

Representándose en la Figura 9.249 la deformada de la estructura 2.3 para este ensayo, donde se puede apreciar que la deformación máxima se localiza en el extremo delantero derecho alcanzando un valor de 3,616 mm, coherente con las tensiones y restricciones aplicadas al modelo.

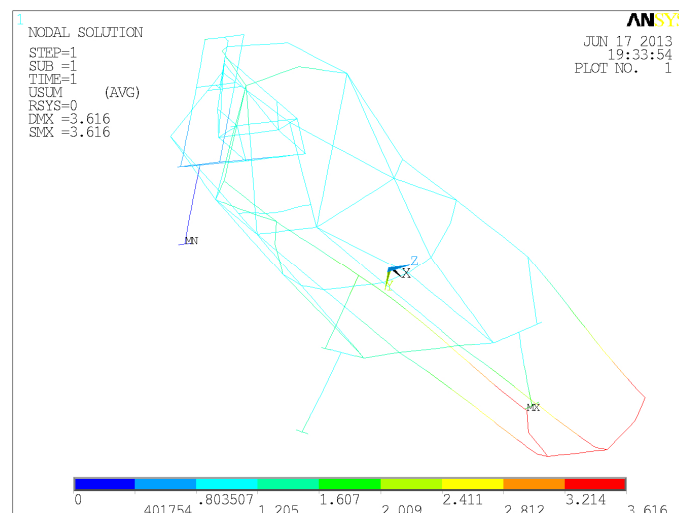


Figura 9.249. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 8.

Las tensiones equivalentes de Von Mises se representan en la Figura 9.250.

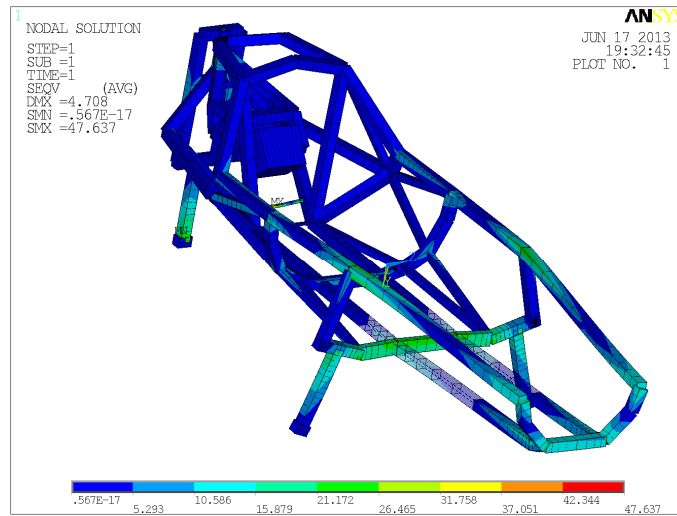


Figura 9.250. Tensiones de Von Mises para el ensayo 8 de la estructura 2.3.

Observándose que la tensión máxima es de 47,637 MPa y se sitúa en el punto medio de la barra del extintor.

9.5.3.13. Ensayo 9 para la estructura 2.3:

En la Figura 9.251 se puede apreciar la deformación sufrida por la estructura en el ensayo 9.

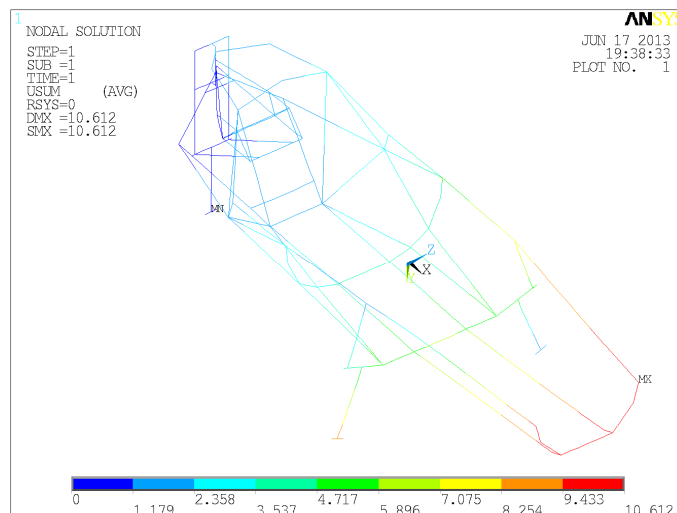


Figura 9.251. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 9.

Donde se obtiene que la deformación máxima es 10,612 mm y se localiza en el extremo delantero izquierdo de la estructura, observándose que la deformada es coherente con las cargas y restricciones aplicadas.

La representación de las tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura se puede apreciar en la Figura 9.252. Resultando que la mayor tensión es de 130,202 MPa en el punto medio del eje delantero.

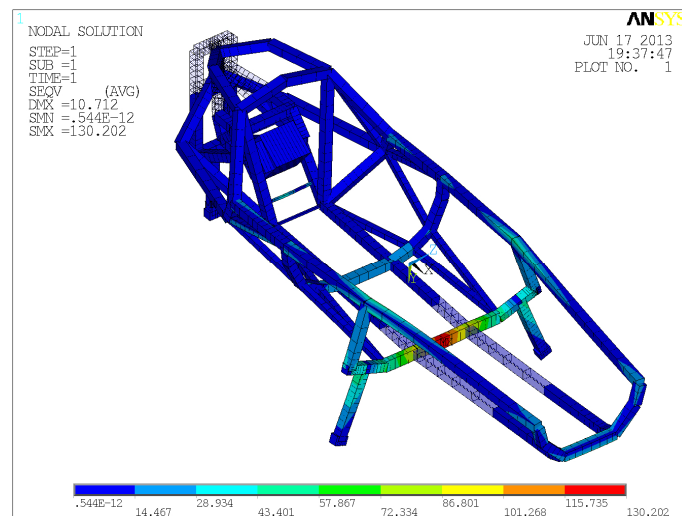


Figura 9.252. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9 de la estructura 2.3.

Para verificar que todas las tensiones son aceptables, se realiza en la Figura 9.253 una representación de las tensiones hasta 40 MPa.

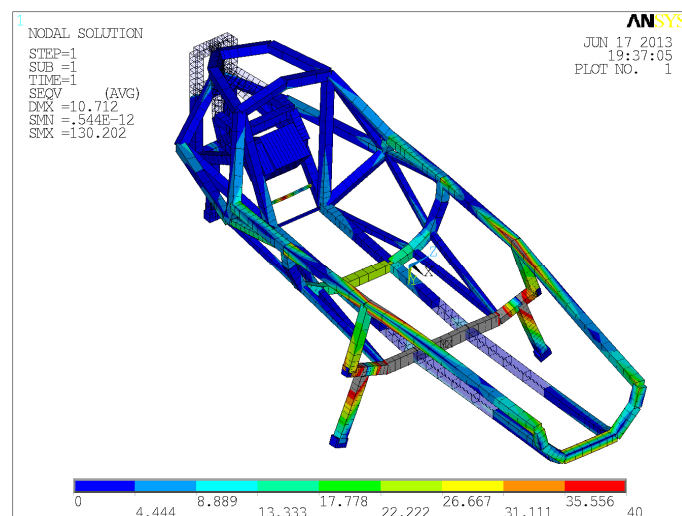


Figura 9.253. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 9 de la estructura 2.3.

9.5.3.14. Ensayo 9b para la estructura 2.3:

Las deformaciones resultantes de aplicar el ensayo 9b a la estructura 2.3 se representan en la Figura 9.254. Obteniéndose que la mayor deformación se localiza en el extremo delantero derecho de la estructura con un valor de 6,770 mm, que es coherente con las cargas y restricciones de este ensayo. Las tensiones equivalentes de Von Mises se pueden apreciar en la Figura 9.255, siendo la tensión máxima 81,740 MPa en el punto medio del travesaño. A fin de verificar que la estructura es válida se representan en la Figura 9.256 las tensiones hasta 40 MPa.

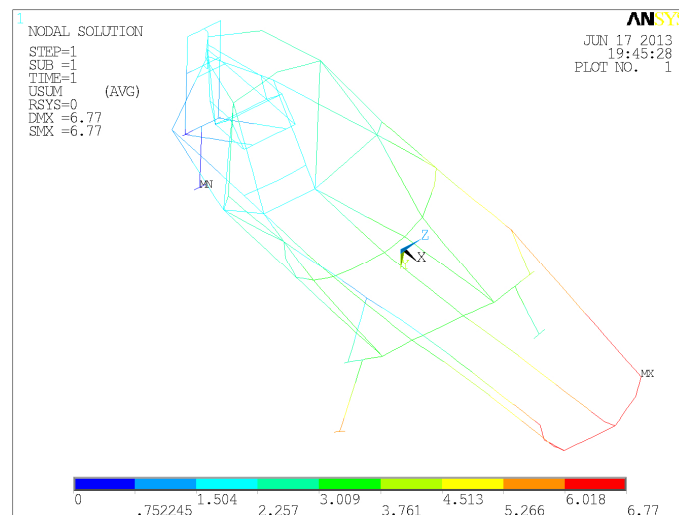


Figura 9.254. Deformaciones de la estructura 2.3 al someterse al ensayo 9b.

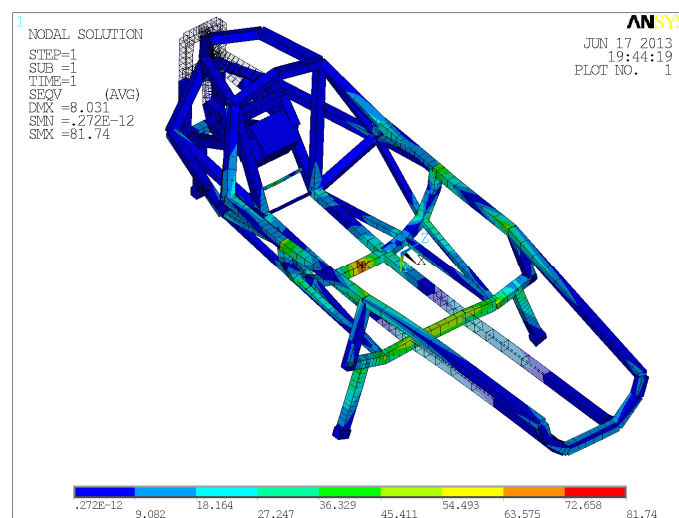


Figura 9.255. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9b de la estructura 2.3.

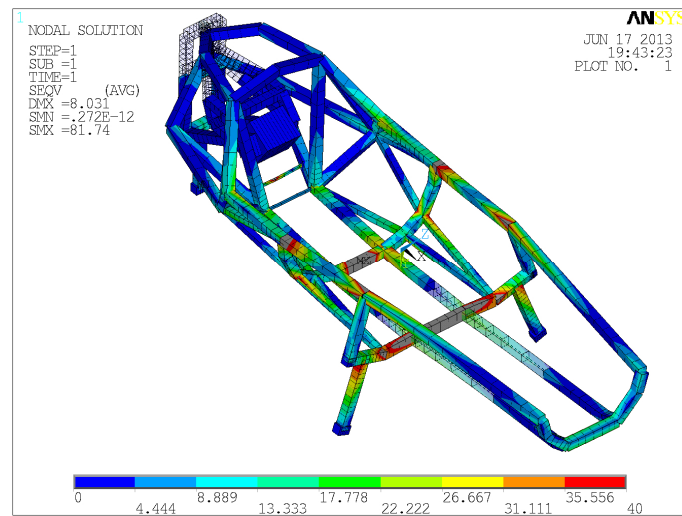


Figura 9.256. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 9b de la estructura 2.3.

9.5.4. Estructura 2.4:

Una vez obtenida una estructura valida, la estructura 2.3 que supera todos los ensayos como se aprecia en el subapartado anterior, a fin de optimizar la estructura diseñada para el prototipo se procede a aligerarla sustituyendo algunas de las barras de 30 mm de diámetro y 1 mm de espesor por barras de diámetro 20 mm y 1 mm de espesor. Siendo las barras sustituidas: la barra frontal, los largueros inferiores, los soportes inferiores del arco de seguridad y los soportes del respaldo como se puede observar en la Figura 9.257.

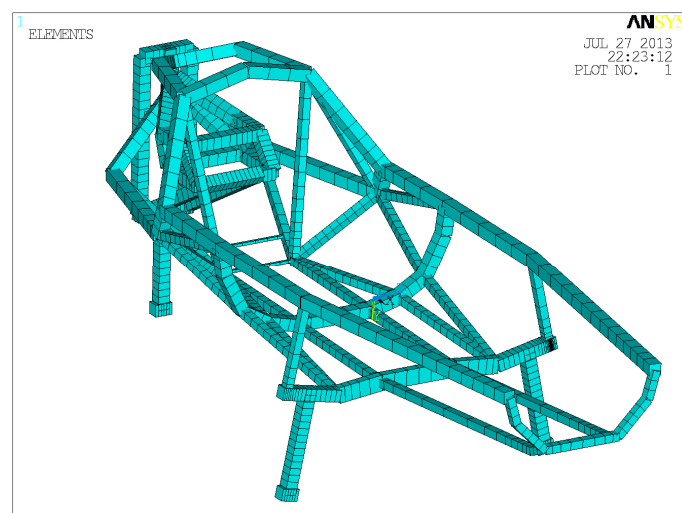


Figura 9.257. Representación isométrica del mallado de la estructura 2.4.

Las barras que se consideran continuas son: la barra frontal, los largueros superiores, los largueros inferiores salvo en las uniones con el eje y el travesaño, el eje, el travesaño y la parte superior del arco de seguridad. Además en el caso de la barra frontal a fin de facilitar su unión a los largueros superiores se considera que su extremos se doblan de forma que se aumenta el área de contacto de dichas uniones considerándose que la tensión máxima podrá ser superior a la máxima admisible por el adhesivo al existir en la realidad una mayor área de contacto. Resultando que el modelo en elementos finitos de la estructura alcanza una masa de 11,722 kg, correspondiendo 2,944 kg a la masa de los elementos necesarios para la realización de los ensayos y 8,778 kg a la masa de la estructura. Recogiéndose en la Tabla 9.168 los resultados de los ensayos aplicados sobre la estructura.

Ensayo	Medida	Valor	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Ensayo superado
1	Deformación máxima (mm)	5,706	1970	200	480	NO
	Tensión máxima (MPa)	55,512	1970	-200	480	
2	Deformación máxima (mm)	25,934	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	277,855	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	120,740	370	-170	690	
2b	Deformación máxima (mm)	24,238	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	279,288	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	115,682	370	170	690	
3	Deformación máxima (mm)	23,348	150	110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	157,542	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	111,663	520	-300	480	
3b	Deformación máxima (mm)	24,444	150	-110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	157,927	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	120,704	800	-310	480	
4	Deformación máxima (mm)	5,320	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	61,277	370	0	730	
4b	Deformación máxima (mm)	5,137	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	61,251	370	0	730	
5	Deformación máxima (mm)	4,772	1970	-200	480	NO
	Tensión máxima (MPa)	59,498	1970	-200	480	
6	Deformación máxima (mm)	50,716	0	0	0	NO
	Tensión máxima (MPa)	245,804	1970	-100	330,2	
6b	Deformación máxima (mm)	4,283	1970	200	480	NO
	Tensión máxima (MPa)	61,160	1970	-200	480	
7	Deformación máxima (mm)	4,403	1970	200	480	NO
	Tensión máxima (MPa)	56,511	1970	-200	480	
8	Deformación máxima (mm)	5,230	1970	0	330,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	54,475	1970	-200	480	
9	Deformación máxima (mm)	12,245	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	144,564	1200	0	240	
9b	Deformación máxima (mm)	7,753	1970	200	480	SI
	Tensión máxima (MPa)	99,836	800	0	250	

Tabla 9.168. Resultados de los ensayos para la estructura 2.4.

Donde se aprecia que la estructura supera directamente los ensayos 4, 4b, 9 y 9b. Considerando la unión de la barra frontal con los largueros superiores la estructura supera los ensayos 1, 5, 6b, 7 y 8. Considerando las barras que son continuas se aprecia que las tensiones máximas del resto de

ensayos son inferiores al límite elástico del material, 280 MPa. Por tanto la estructura 2.4 es la versión definitiva de la estructura 2 y en los siguientes subapartados se recogen los diagramas de tensiones y deformaciones de todos los ensayos.

9.5.4.1. Ensayo 1 para la estructura 2.4:

La representación de la deformada de la estructura 2.4 se realiza en la Figura 9.258. Produciéndose la mayor deformación de la estructura de 5,706 mm en el extremo delantero izquierdo. La representación de las tensiones equivalentes de Von Mises se realiza en la Figura 9.259, siendo la tensión máxima de 55,512 MPa en el extremo delantero derecho de la estructura.

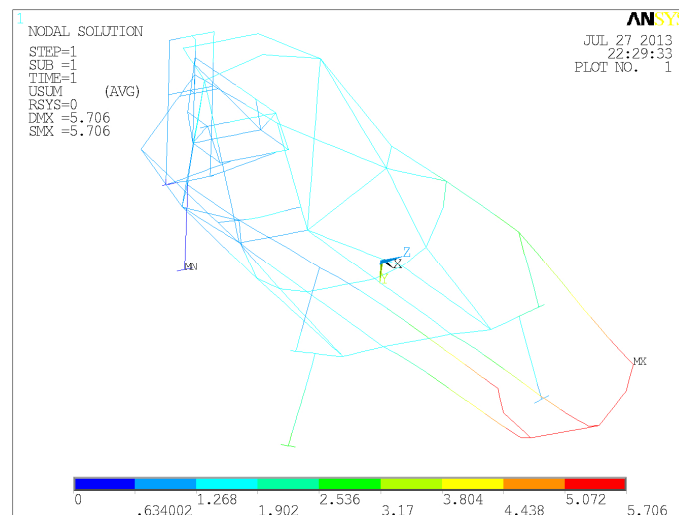


Figura 9.258. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 1.

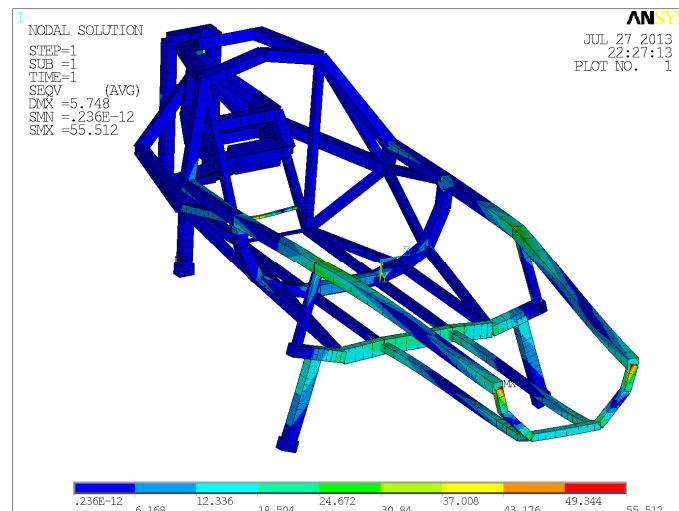


Figura 9.259. Tensiones de Von Mises para el ensayo 1 de la estructura 2.4.

9.5.4.2. Ensayo 2 para la estructura 2.4:

En la Figura 9.260 se representa la deformación de la estructura, donde se aprecia que la deformación máxima se localiza en el punto medio del arco de seguridad alcanzado un valor de 25,934 mm siendo coherente con los resultados esperados del ensayo. La representación de las tensiones equivalentes de Von Mises se puede apreciar en la Figura 9.261, donde la tensión máxima es de 277,855 MPa en el punto medio del eje de la rueda trasera y la tensión máxima en la estructura es de 120,740 MPa en la unión superior derecha del arco de seguridad. Para apreciar claramente las zonas en donde las tensiones superan los 40 MPa que soporta el adhesivo seleccionado se representan en la Figura 9.262 las tensiones limitadas a 40 MPa.

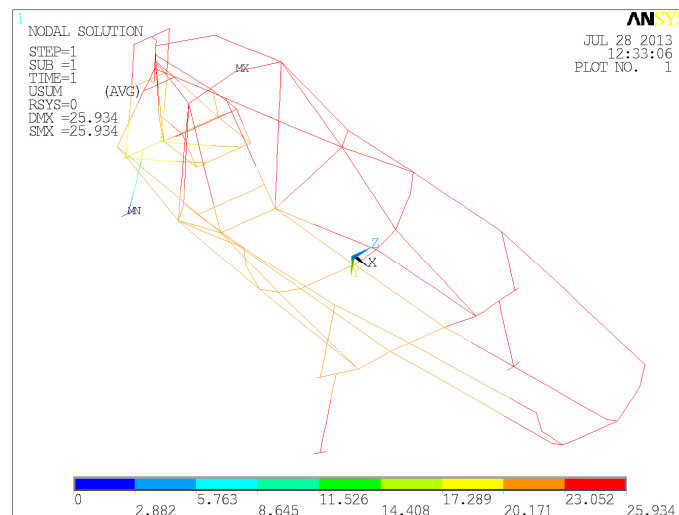


Figura 9.260. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 2.

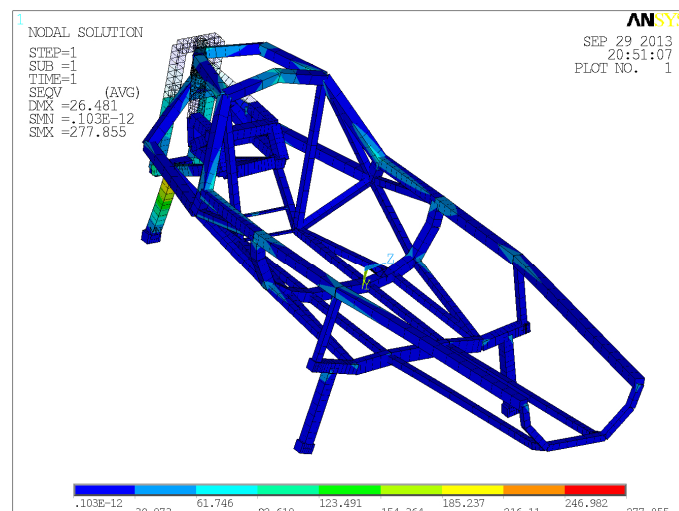


Figura 9.261. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2 de la estructura 2.4.

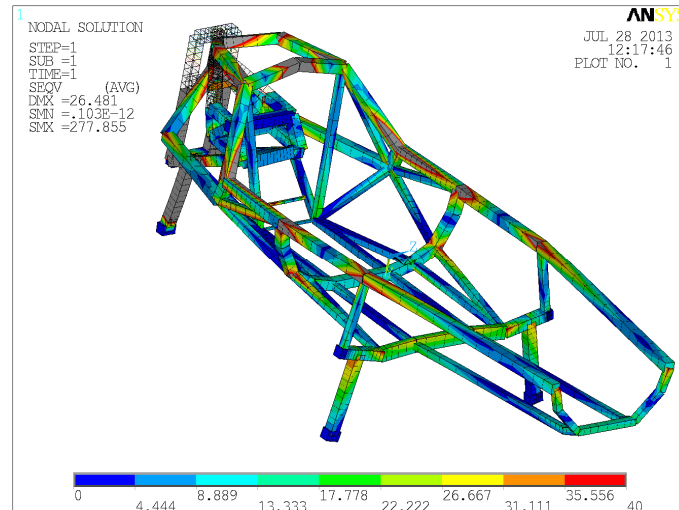


Figura 9.262. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2 de la estructura 2.4.

9.5.4.3. Ensayo 2b para la estructura 2.4:

Para el ensayo 2b de la estructura 2.4 las deformaciones sufridas por la estructura se aprecian en la Figura 9.263.

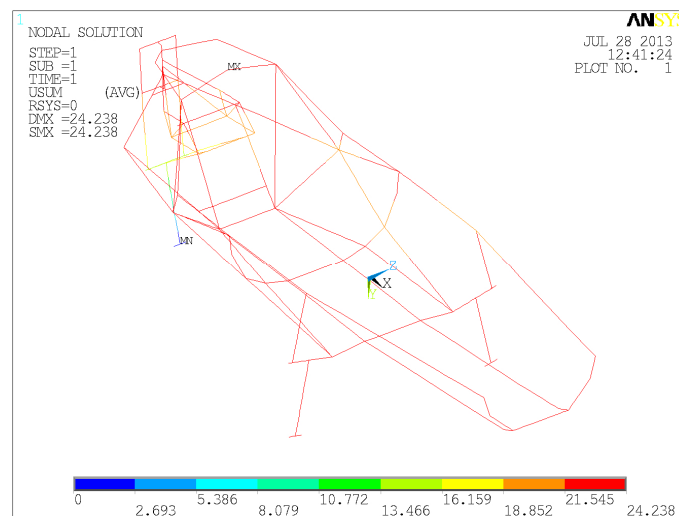


Figura 9.263. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 2b.

Obteniéndose que la deformación máxima que sufre la estructura es de 24,238 mm y se sitúa en el extremo superior del arco de seguridad de forma consistente con los resultados del mismo ensayo sobre las estructuras anteriores. En la Figura 9.264 se representan las tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura 2.4 para este ensayo.

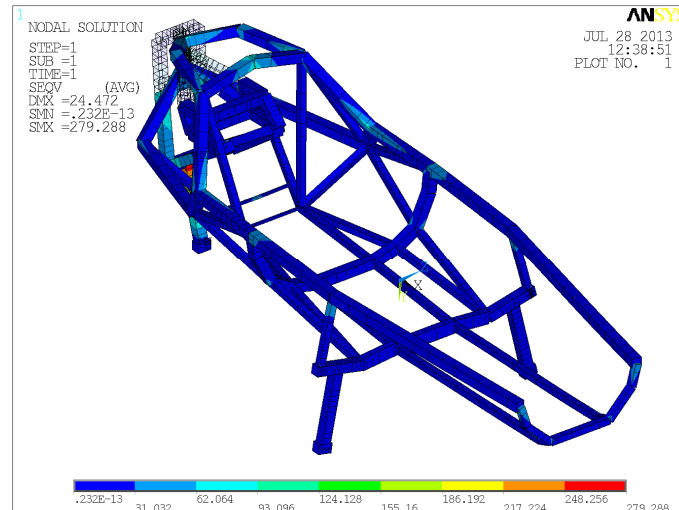


Figura 9.264. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2b de la estructura 2.4.

Resultando que la tensión máxima en el ensayo es de 279,288 MPa en el punto medio del eje de la rueda trasera, y la tensión máxima en la estructura es de 115,682 MPa en el extremo superior izquierdo del arco de seguridad. A fin de mostrar más claramente que la estructura es valida se procede a representar en la Figura 9.265, las tensiones inferiores a 40 MPa.

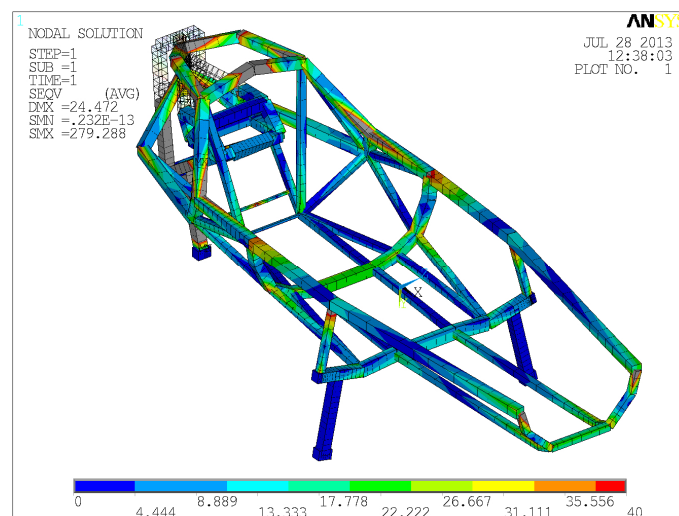


Figura 9.265. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2b de la estructura 2.4.

9.5.4.4. Ensayo 3 para la estructura 2.4:

La deformada de la estructura 2.4 aplicado el ensayo 3 se representa en la Figura 9.266, siendo la deformación máxima de 23,348 MPa localizándose en la unión superior izquierda del soporte

superior del eje de giro como era previsible en base a los ensayos realizados sobre las versiones anteriores de la estructura 2.

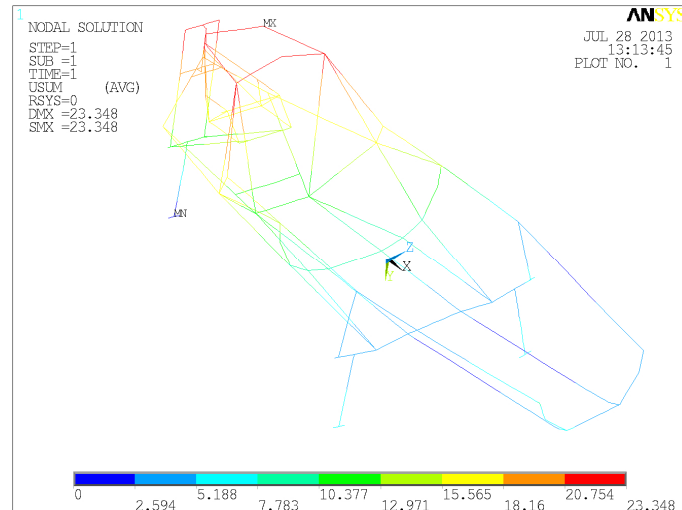


Figura 9.266. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 3.

En la Figura 9.267 se representan las tensiones equivalentes de Von Misses de la estructura.

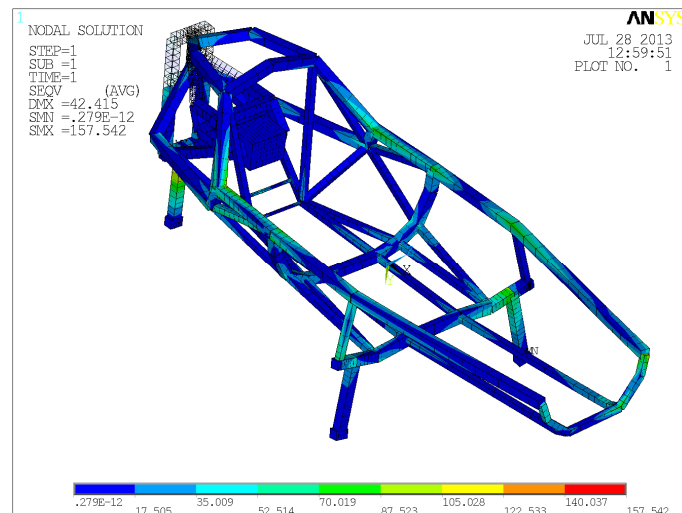


Figura 9.267. Tensiones de Von Misses para el ensayo 3 de la estructura 2.4.

Donde se aprecia que la tensión máxima en el ensayo es de 157,542 MPa y se sitúa en el punto medio del eje de la rueda trasera. La tensión máxima en la estructura es de 111,663 MPa en la unión del arco de seguridad con el larguero superior derecho coincidiendo con el punto de aplicación de la carga. Para verificar que la estructura es valida se representan en la Figura 9.268 las tensiones limitadas a 40 MPa.

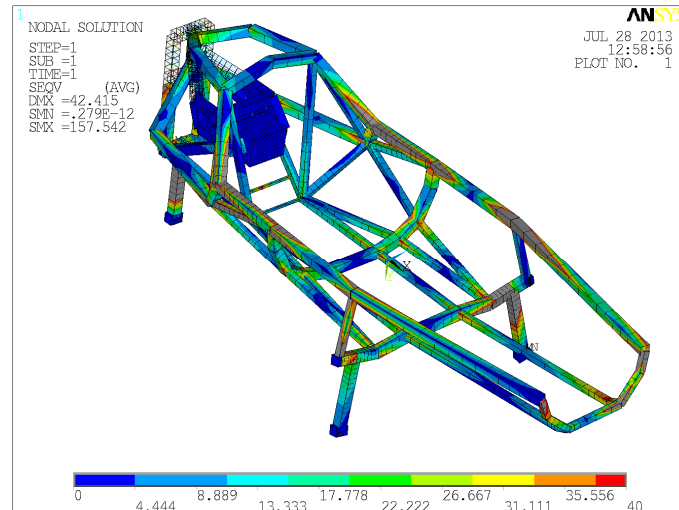


Figura 9.268. Tensiones de Von Mises limitada a 40 MPa para el ensayo 3 de la estructura 2.4.

9.5.4.5. Ensayo 3b para la estructura 2.4:

Para el ensayo 3b de la estructura 2.4 la deformación de la estructura se puede apreciar en la Figura 9.269.

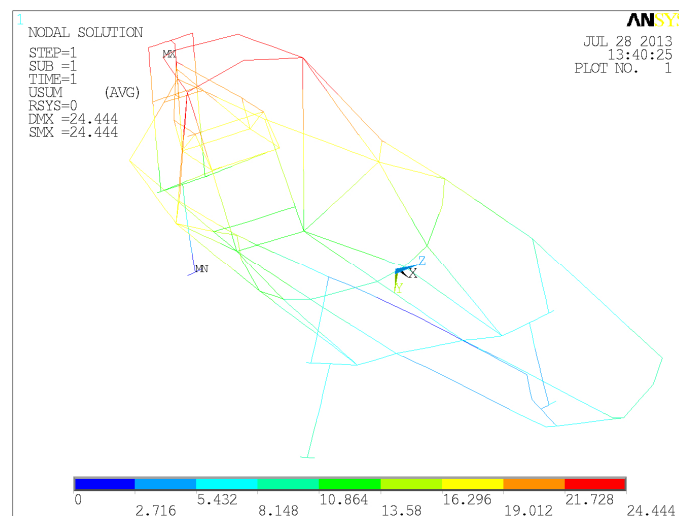


Figura 9.269. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 3b.

Obteniéndose que la deformación máxima es de 24,444 mm en la unión superior derecha de la barra superior que soporta el eje de giro. Las tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura se representan en la Figura 9.270. Estando la mayor tensión del ensayo localizada en el punto medio del eje de la rueda trasera con un valor de 157,927 MPa. Y la máxima tensión en la estructura es 120,704 MPa en la unión del travesaño con el larguero superior derecho.

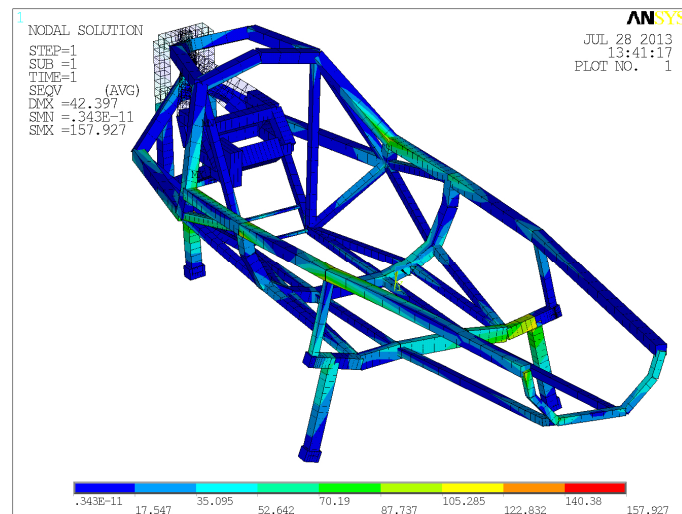


Figura 9.270. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3b de la estructura 2.4.

A fin de mostrar las zonas más tensionadas en este ensayo se representan en la Figura 9.271 las tensiones inferiores a 40 MPa.

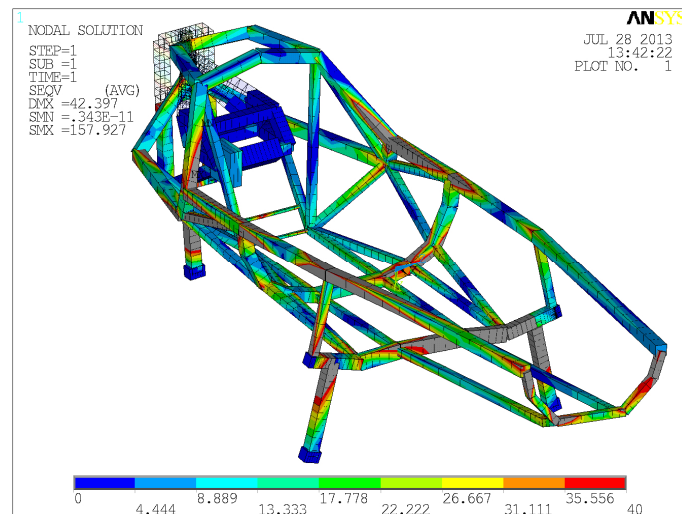


Figura 9.271. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 3b de la estructura 2.4.

9.5.4.6. Ensayo 4 para la estructura 2.4:

En la Figura 9.272 se representan las deformaciones de la estructura al someterla a las cargas y restricciones de este ensayo. Resultando que la deformación máxima es de 5,320 mm y se sitúa en el extremo delantero izquierdo de la estructura, como era esperable.

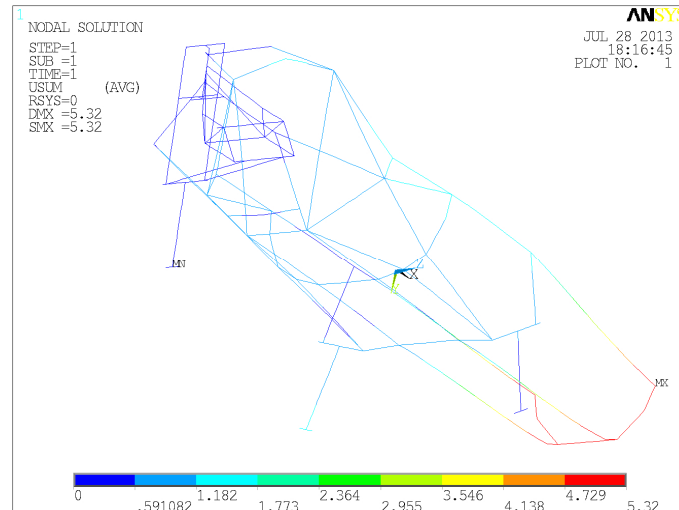


Figura 9.272. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 4.

En la Figura 9.273 se representan las tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura, donde se aprecia que la tensión máxima es de 61,277 MPa en el extremo superior del arco de seguridad coincidiendo con el punto de aplicación de la carga principal de este ensayo.

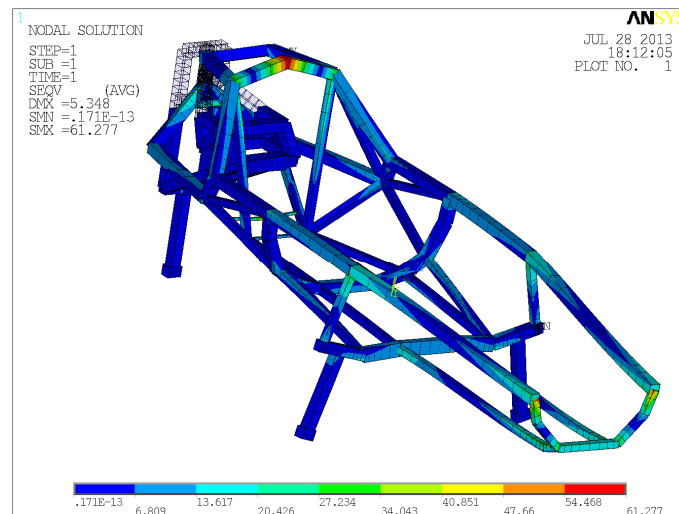


Figura 9.273. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4 de la estructura 2.4.

9.5.4.7. Ensayo 4b para la estructura 2.4:

En el ensayo 4b, la deformada de la estructura se representa en la Figura 9.274, obteniéndose que la mayor deformación de la estructura 2.4 al someterla al ensayo 4b se localiza en el extremo delantero izquierdo alcanzando un valor de 5,137 mm de forma coherente con los resultados del resto de estructuras al aplicarles este ensayo.

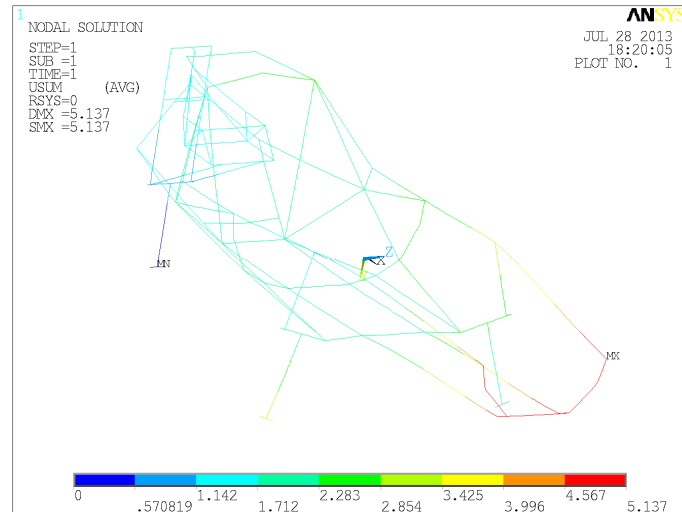


Figura 9.274. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 4b.

Representándose en la Figura 9.275 las tensiones equivalentes de Von Mises al someter a la estructura 2.4 a las cargas y restricciones del ensayo 4b. Resultando que la tensión máxima de la estructura es de 61,251 MPa en el extremo superior del arco de seguridad coincidiendo con el punto de aplicación de la carga principal de este ensayo.

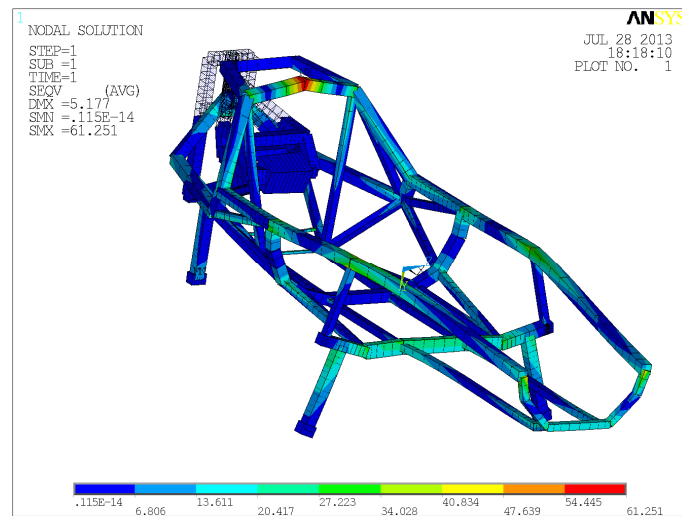


Figura 9.275. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4b de la estructura 2.4.

9.5.4.8. Ensayo 5 para la estructura 2.4:

Las deformaciones sufridas por la estructura 2.4 al ser sometida al ensayo 5 se aprecian en la Figura 9.276, siendo la deformación máxima de 4,772 mm en el extremo delantero derecho de la estructura.

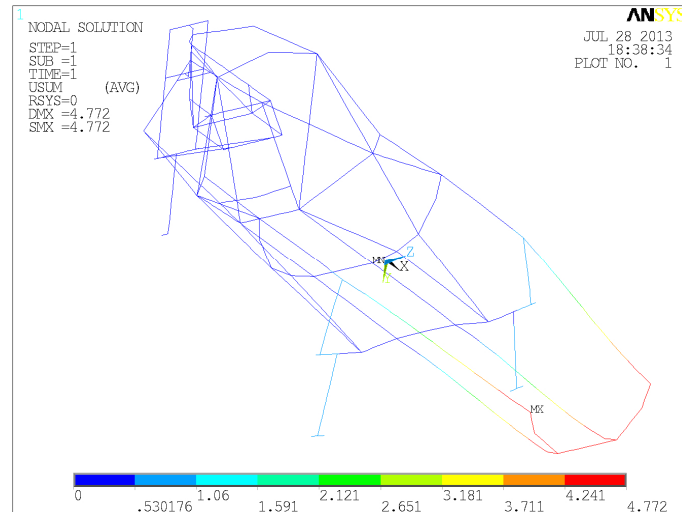


Figura 9.276. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 5.

Y las tensiones equivalentes de Von Mises se representan en la Figura 9.277. Obteniéndose que la mayor tensión se localiza en el extremo delantero derecho de la estructura alcanzado un valor de 59,498 MPa.

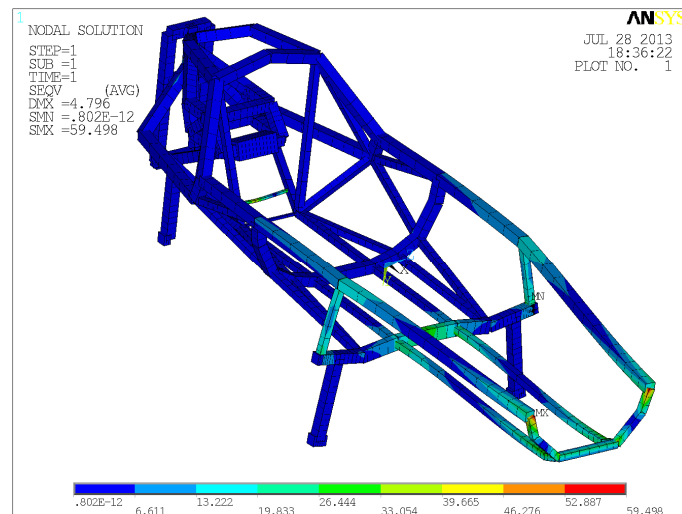


Figura 9.277. Tensiones de Von Mises para el ensayo 5 de la estructura 2.4.

9.5.4.9. Ensayo 6 para la estructura 2.4:

En la Figura 9.278 se puede apreciar la deformación de la estructura al aplicarle las cargas y restricciones del ensayo 6, donde se obtiene que la deformación máxima es 50,716 mm en el punto de contacto de la rueda trasera con la calzada. Apreciándose que la deformación sufrida por la estructura es coherente con las cargas y restricciones del ensayo.

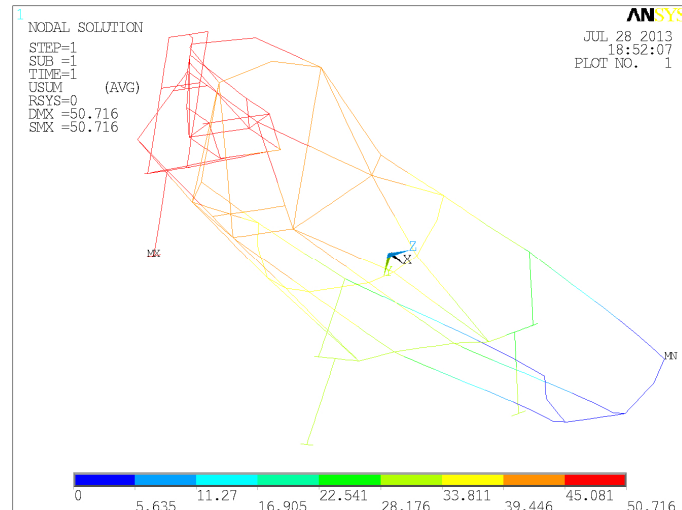


Figura 9.278. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 6.

Y las tensiones equivalentes de Von Mises resultantes de este ensayo se pueden apreciar en la Figura 9.279, siendo la tensión máxima 245,804 MPa en la unión del larguero inferior derecho con la barra frontal.

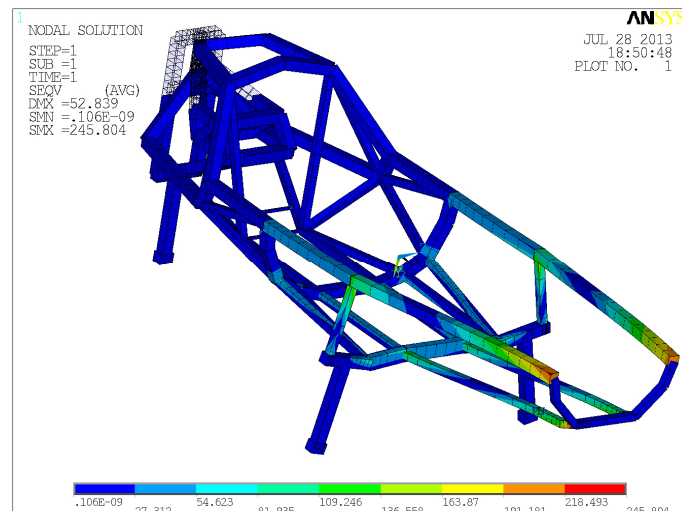


Figura 9.279. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6 de la estructura 2.4.

9.5.4.10. Ensayo 6b para la estructura 2.4:

La deformación de la estructura 2.4 al someterla al ensayo 6b se representa en la Figura 9.280. Resultando que la mayor deformación se localiza en el extremo delantero izquierdo de la estructura con un valor de 4,283 mm. Las tensiones equivalentes de Von Mises correspondientes a este ensayo se aprecian en la Figura 9.281.

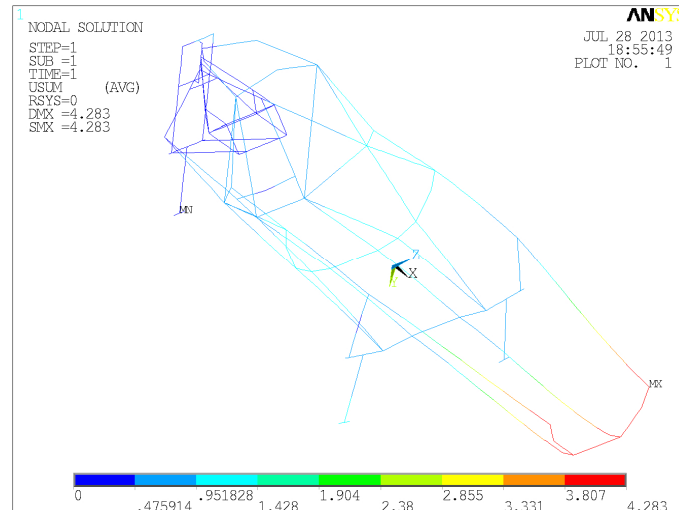


Figura 9.280. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 6b.

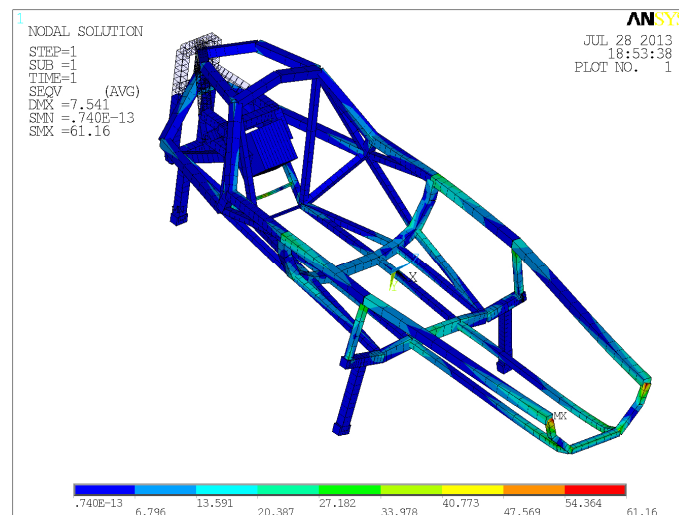


Figura 9.281. Tensiones de Von Misses para el ensayo 6b de la estructura 2.4.

Obteniéndose que la tensión máxima es de 61,160 MPa en el extremo delantero derecho de la estructura.

9.5.4.11. Ensayo 7 para la estructura 2.4:

Las deformaciones sufridas por la estructura 2.4 al aplicarle las cargas y restricciones de este ensayo se recogen en la Figura 9.282, siendo la deformación máxima de 4,403 mm en la unión del larguero superior izquierdo con la barra frontal. Y representándose las tensiones equivalentes de Von Misses en la Figura 9.283, donde la mayor tensión, 56,511 MPa, se localiza en el extremo delantero derecho de la estructura.

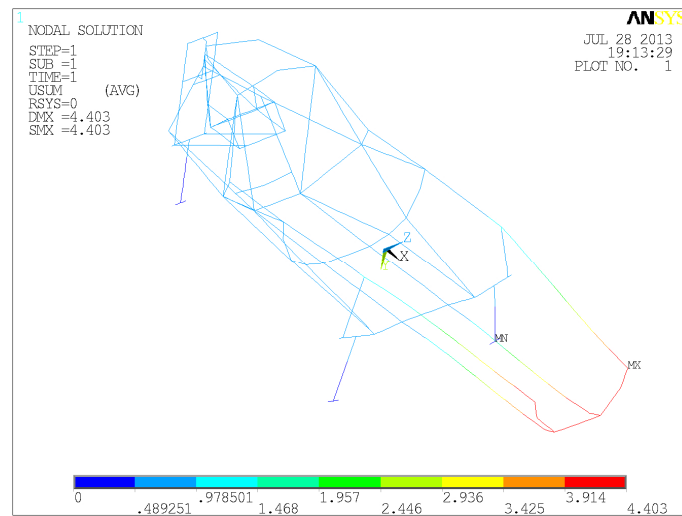


Figura 9.282. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 7.

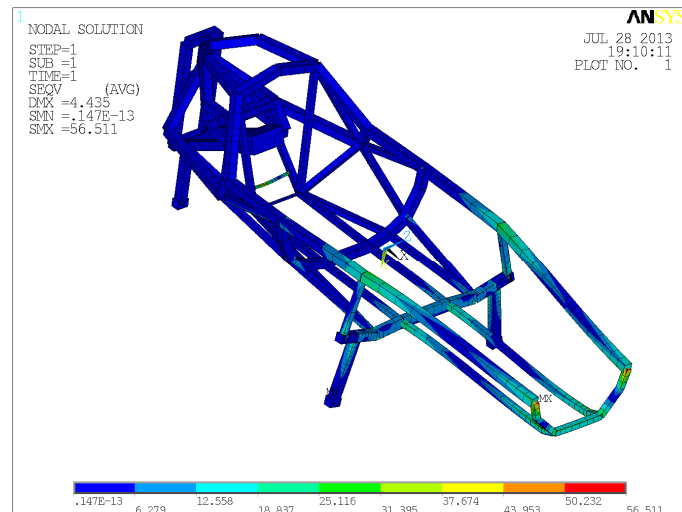


Figura 9.283. Tensiones de Von Mises para el ensayo 7 de la estructura 2.4.

9.5.4.12. Ensayo 8 para la estructura 2.4:

Para el ensayo 8, la deformación de la estructura 2.4 se recoge en la Figura 9.284, donde la mayor deformación de la estructura se localiza en el punto medio de la barra frontal con un valor de 5,230 mm.

En la Figura 9.285 se recogen las tensiones equivalentes de Von Mises, apreciándose que la tensión máxima es de 54,475 MPa en el extremo delantero derecho de la estructura.

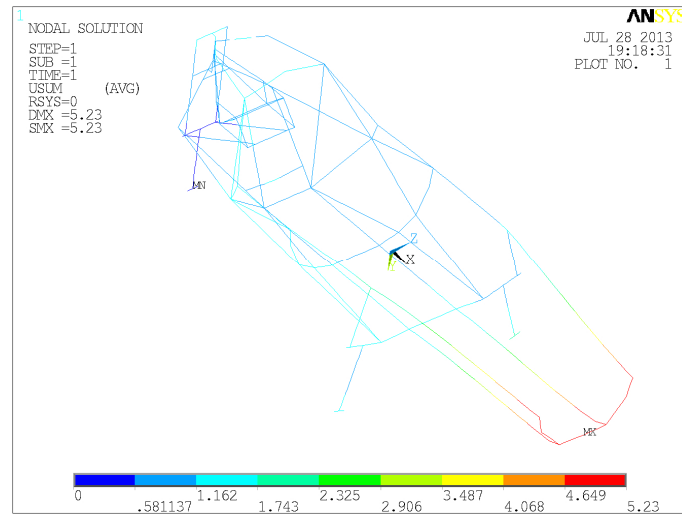


Figura 9.284. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 8.

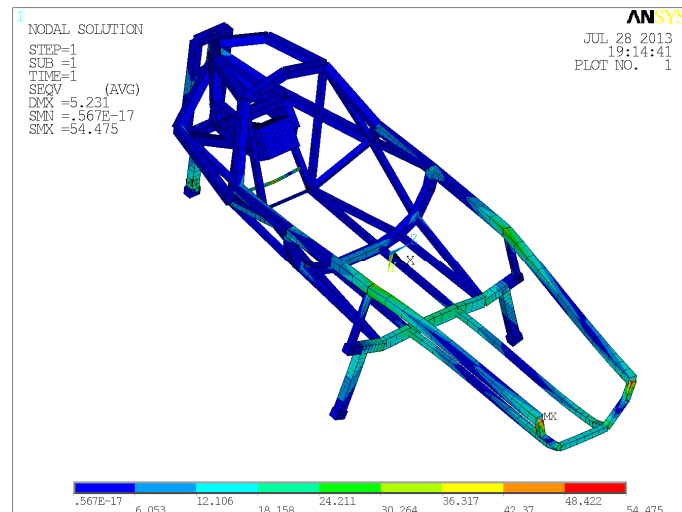


Figura 9.285. Tensiones de Von Mises para el ensayo 8 de la estructura 2.4.

9.5.4.13. Ensayo 9 para la estructura 2.4:

La deformada de la estructura se puede apreciar en la Figura 9.286, obteniéndose que la deformación máxima es 12,245 mm en el extremo delantero izquierdo de la estructura.

En la Figura 9.287 se representan las tensiones equivalentes de Von Mises, resultando que la tensión máxima de 144,564 MPa se sitúa en el punto medio del eje. A fin de verificar que todas las uniones son validas se representan en la Figura 9.288 las tensiones inferiores a 40 MPa.

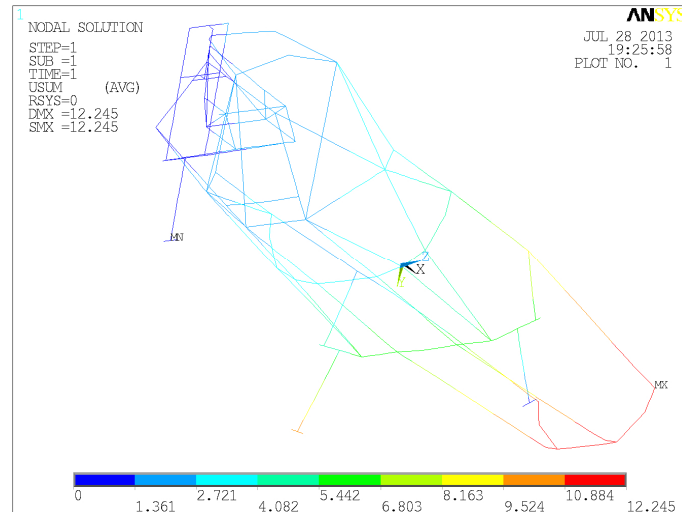


Figura 9.286. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 9.

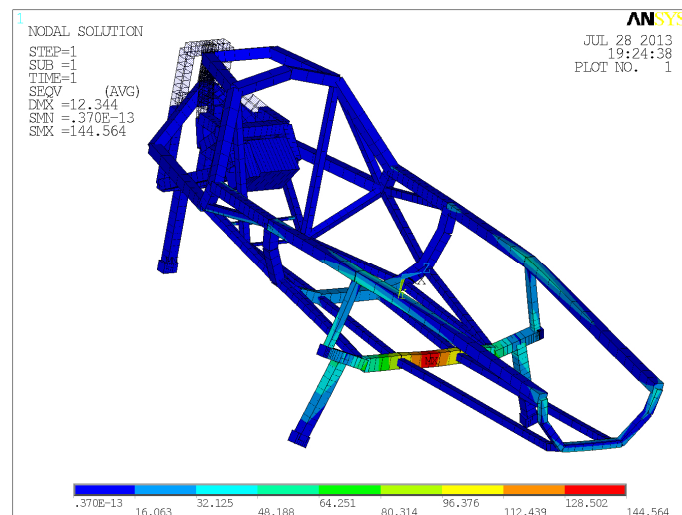


Figura 9.287. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9 de la estructura 2.4.

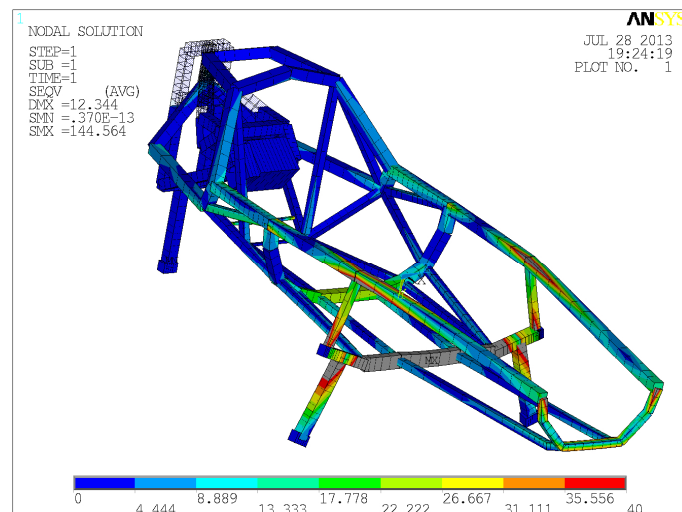


Figura 9.288. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 9 de la estructura 2.4.

9.5.4.14. Ensayo 9b para la estructura 2.4:

En la Figura 9.289 se representan las deformaciones de la estructura 2.4 para el ensayo 9, apreciándose que la mayor deformación es de 7,753 mm y se sitúa en el extremo delantero izquierdo de la estructura.

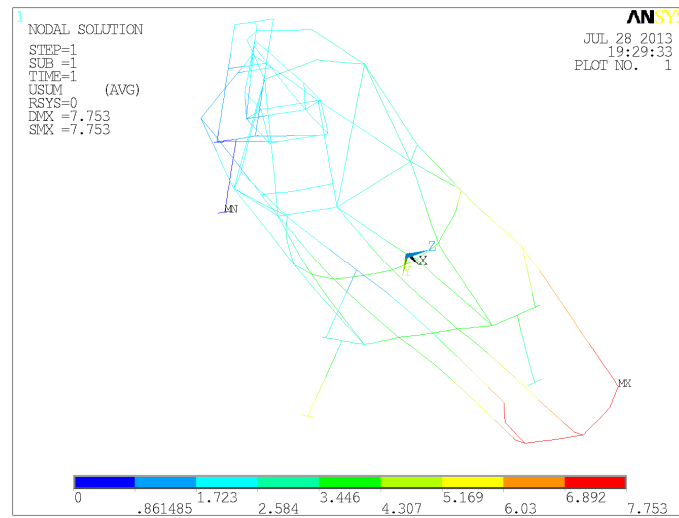


Figura 9.289. Deformaciones de la estructura 2.4 al someterse al ensayo 9b.

En la Figura 9.290 se puede apreciar una representación de las tensiones equivalentes de Von Mises resultantes de aplicar el ensayo 9b a la estructura 2.4. Resultando que la tensión máxima es de 99,836 MPa y se encuentra en el punto medio del travesaño.

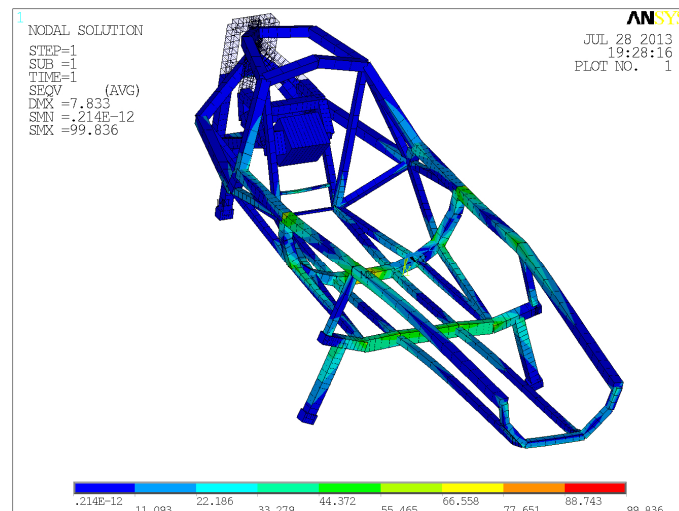


Figura 9.290. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9b de la estructura 2.4.

Para mostrar que todas las uniones son validas se representan en la Figura 9.291 las tensiones menores a 40 MPa.

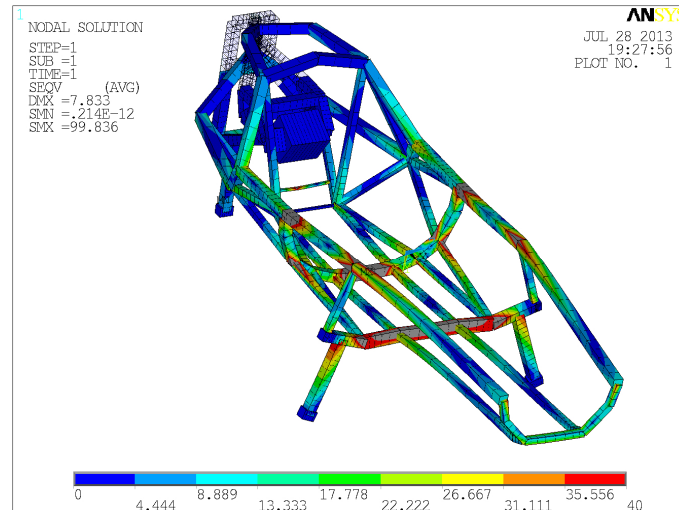


Figura 9.291. Tensiones de Von Misses limitadas a 40 MPa para el ensayo 9b de la estructura 2.4.

9.6. Análisis estructura 3.

Una vez determinadas las versiones definitivas de las estructuras 1 y 2 se procede a obtener la versión definitiva de la tercera estructura propuesta. En base a los resultados de los ensayos realizados sobre las otras dos estructuras se consideran las modificaciones del arco de seguridad introducidas en dichas estructuras, el tamaño de la barra inferior del arco de seguridad y del extintor (diámetro 7 mm y espesor 1 mm) así como el eje en su configuración de doble barra de diámetro 20 mm y 1 mm de espesor, siendo el resto de barras de diámetro 30 mm y 1 mm de espesor. Se consideran continuas a nivel de fabricación: la barra frontal, los largueros superiores, el larguero inferior salvo en la unión con el eje, los dos largueros inferiores de la parte trasera, el eje, el travesaño, la parte superior del arco de seguridad y las barras superiores que soportan el eje vertical de giro. Resultando que el modelo en elementos finitos de la estructura 3.1 alcanza una masa de 9,208 kg, correspondiendo 2,944 kg a la masa de los elementos necesarios para la realización de los ensayos y 6,264 kg a la masa de la estructura. En la Figura 9.292 se representa la vista en planta de la estructura, en la Figura 9.293 se realiza la representación en perfil de la estructura, en la Figura 9.294 se realiza la representación de la vista frontal de la estructura y en la Figura 9.295 se realiza una representación isométrica de la estructura 3.1 pudiendo apreciarse en estas representaciones las modificaciones introducidas con respecto a la estructura 3.0.

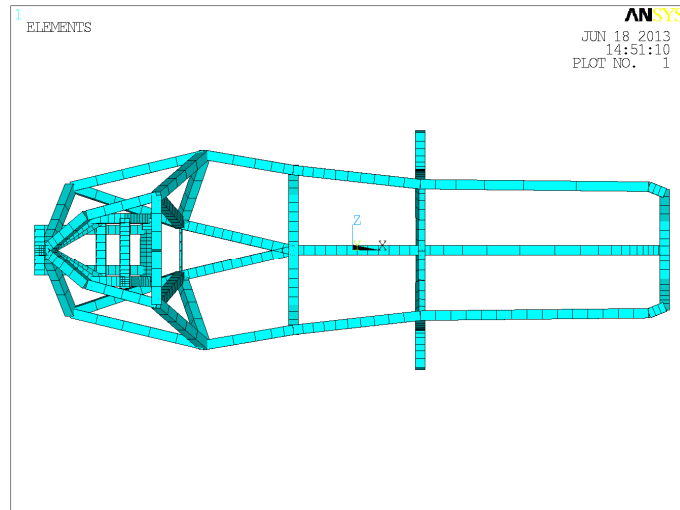


Figura 9.292. Representación en planta de la estructura 3.1.

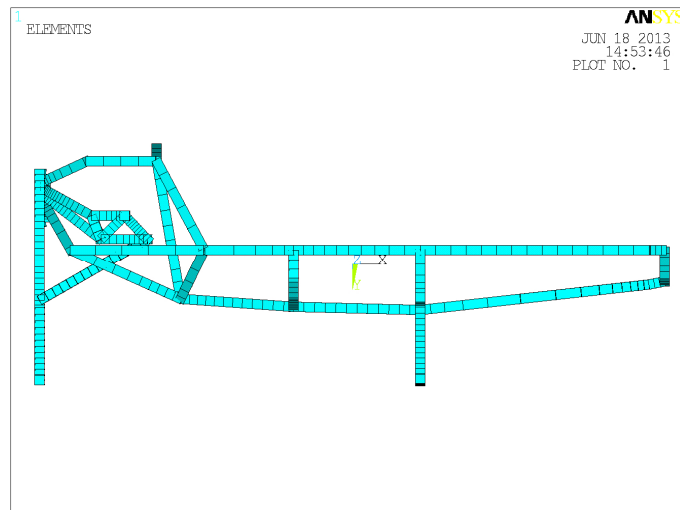


Figura 9.293. Representación en perfil de la estructura 3.1.

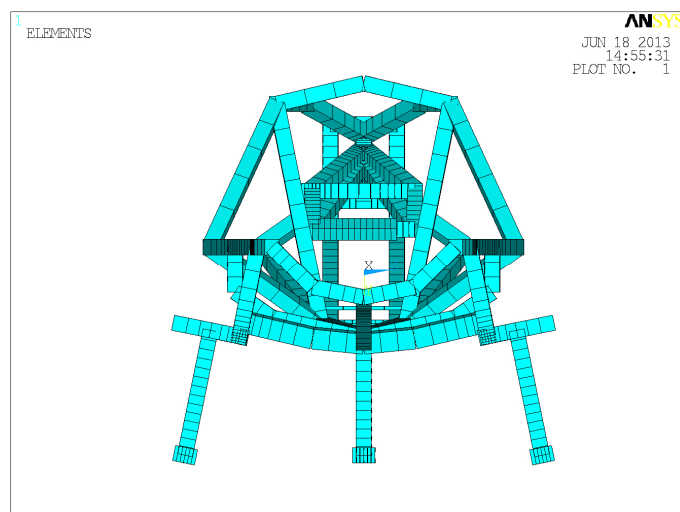


Figura 9.294. Representación en alzado de la estructura 3.1.

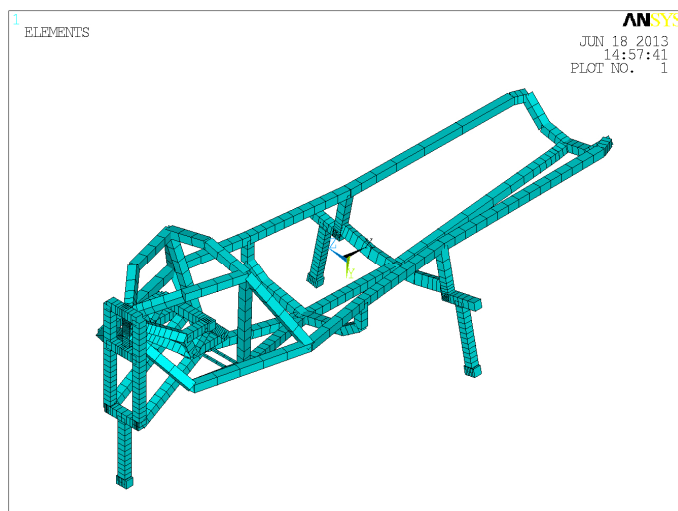


Figura 9.295. Representación isométrica de la estructura 3.1.

9.6.1. Estructura 3.1:

En la Tabla 9.169 se recogen los resultados de los ensayos para la estructura 3.1.

Ensayo	Medida	Valor	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Ensayo superado
1	Deformación máxima (mm)	8,074	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	54,595	1970	0	310,2	
2	Deformación máxima (mm)	37,947	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	276,850	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	214,828	20	0	550	
2b	Deformación máxima (mm)	33,947	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	280,044	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	193,661	20	0	630	
3	Deformación máxima (mm)	36,077	0	65	650	NO
	Tensión máxima (MPa)	168,921	20	0	550	
3b	Deformación máxima (mm)	38,070	150	-110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	179,410	20	0	550	
4	Deformación máxima (mm)	4,232	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	68,665	20	0	550	
4b	Deformación máxima (mm)	6,661	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	71,694	520	-300	410,2	
5	Deformación máxima (mm)	4,569	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	61,833	1970	0	310,2	
6	Deformación máxima (mm)	59,023	0	0	0	NO
	Tensión máxima (MPa)	237,697	1970	0	310,2	
6b	Deformación máxima (mm)	2,987	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	57,478	370	0	288,9	
7	Deformación máxima (mm)	6,288	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	58,584	370	0	288,9	
8	Deformación máxima (mm)	6,515	1970	-180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	55,873	370	0	288,9	
9	Deformación máxima (mm)	14,463	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	182,066	1200	0	220	
9b	Deformación máxima (mm)	10,223	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	129,305	1200	0	220	

Tabla 9.169. Resultados de los ensayos para la estructura 3.1.

En base a las tensiones máximas recogidas en la Tabla 9.169, se obtiene que la estructura 3.1 supera el ensayo 6b de todos los definidos en el apartado 9.3 del presente proyecto. Esto es debido a que las tensiones en las uniones son superiores a la máxima admitida por el adhesivo definido en el apartado 8.9.1, 40 MPa, o superiores al límite elástico del material de las barras, 280 MPa. En la tabla, en caso de que las tensiones máximas se sitúen en el sub-bastidor trasero o en las ruedas se indican las tensiones máximas en la estructura junto a su localización.

9.6.2. Estructura 3.2:

Al no superar la estructura 3.1 los ensayos, por tensiones elevadas en los soportes del eje vertical de giro, se decide emplear las mismas barras que en las otras dos estructuras. Barras inferiores de diámetro 30 mm y espesor 7,5 mm y barras superiores de 3 mm de espesor. Siendo barras continuas la barra frontal, los largueros superiores, el larguero inferior salvo en la unión con el eje, los largueros inferiores traseros, el eje, el travesaño y la parte superior del arco de seguridad. Resultando que el modelo en elementos finitos de la estructura alcanza una masa de 10,669 kg, correspondiendo 2,944 kg a la masa de los elementos necesarios para la realización de los ensayos y 7,725 kg a la masa de la estructura. Recogiéndose en la Tabla 9.168 los resultados de los ensayos aplicados sobre la estructura.

Realizándose en la Figura 9.296 una representación de la estructura 3.2 mallada y recogiendo en la Tabla 9.170 los resultados de los ensayos definidos en el apartado 9.3.

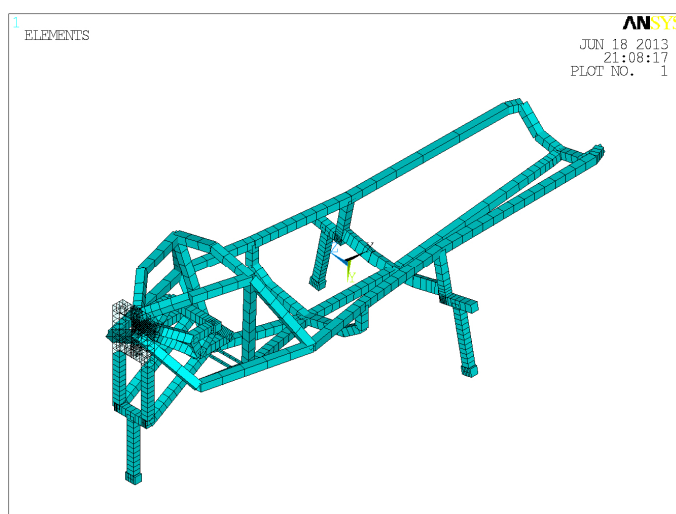


Figura 9.296. Representación isométrica del mallado de la estructura 3.2.

Ensayo	Medida	Valor	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Ensayo superado
1	Deformación máxima (mm)	7,956	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	54,588	1970	0	310,2	
2	Deformación máxima (mm)	31,825	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	276,694	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	140,561	520	-300	410,2	
2b	Deformación máxima (mm)	28,153	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	280,201	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	123,812	370	170	690	
3	Deformación máxima (mm)	33,556	150	110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	156,877	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	146,432	520	300	410,2	
3b	Deformación máxima (mm)	35,534	150	-110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	165,220	520	-300	410,2	
4	Deformación máxima (mm)	3,585	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	59,276	370	0	730	
4b	Deformación máxima (mm)	6,991	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	67,986	1200	0	220	
5	Deformación máxima (mm)	4,463	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	62,141	1970	0	310,2	
6	Deformación máxima (mm)	60,902	0	0	0	NO
	Tensión máxima (MPa)	247,873	1970	0	310,2	
6b	Deformación máxima (mm)	3,031	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	59,615	1200	0	220	
7	Deformación máxima (mm)	6,214	1970	0	310,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	57,705	370	0	288,9	
8	Deformación máxima (mm)	6,375	1970	0	310,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	55,544	370	0	288,9	
9	Deformación máxima (mm)	14,384	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	181,954	1200	0	220	
9b	Deformación máxima (mm)	10,452	1970	180	410,2	NO
	Tensión máxima (MPa)	130,311	1200	0	220	

Tabla 9.170. Resultados de los ensayos para la estructura 3.2.

Superándose los ensayos 4 y 6b al ser sus tensiones máximas inferiores al límite elástico del material de las barras, 280 MPa, al situarse dichas tensiones en el punto medio de una barra.

9.6.3. Estructura 3.3:

Habiendo eliminado las tensiones elevadas en las barras que soportan el eje vertical de giro se procede a solucionar la falta de rigidez de esta estructura, para ello se añaden unos refuerzos entre el arco de seguridad, los largueros y el eje con barras de diámetro 20 mm y espesor 1 mm. Se añaden dos barras de diámetro 20 mm y espesor 1 mm en la unión del larguero inferior con la barra frontal a fin de reducir las tensiones de dicha zona. Además, se modifican los soportes del eje para mejorar su comportamiento, pudiéndose apreciar estos cambios en la Figura 9.297. Se mantienen las barras continuas definidas en la estructura 3.2 con lo que modelo en elementos finitos de la estructura alcanza una masa de 11,819 kg, correspondiendo 2,944 kg a la masa de los elementos necesarios para la realización de los ensayos y 8,875 kg a la masa de la estructura.

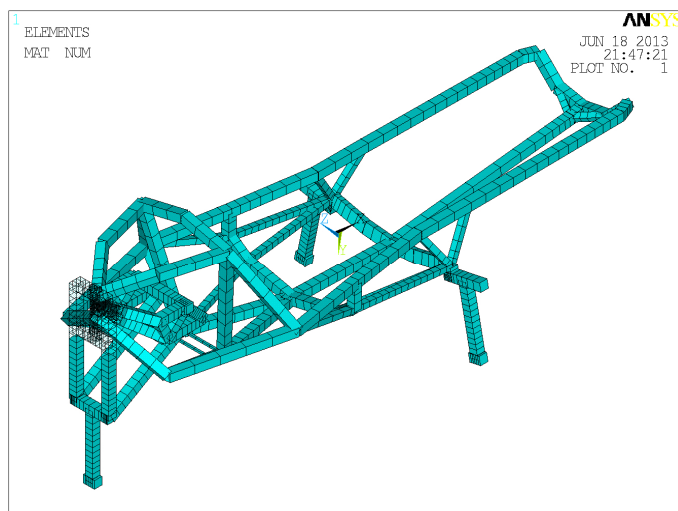


Figura 9.297. Representación isométrica del mallado de la estructura 3.3.

Representándose en la Tabla 9.171 los resultados de someter a la estructura 3.3 a las cargas y restricciones de los ensayos definidos en el apartado 9.3 del presente proyecto.

Ensayo	Medida	Valor	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Ensayo superado
1	Deformación máxima (mm)	6,040	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	47,029	370	0	288,9	
2	Deformación máxima (mm)	28,107	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	276,664	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	132,383	370	-170	690	
2b	Deformación máxima (mm)	25,594	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	280,231	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	123,502	370	170	690	
3	Deformación máxima (mm)	26,196	150	-110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	156,907	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	123,536	520	-300	410,2	
3b	Deformación máxima (mm)	27,662	150	-110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	156,907	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	123,650	520	-300	410,2	
4	Deformación máxima (mm)	2,868	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	59,117	370	0	730	
4b	Deformación máxima (mm)	5,234	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	61,063	370	0	730	
5	Deformación máxima (mm)	3,203	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	48,188	370	0	288,9	
6	Deformación máxima (mm)	43,145	0	0	0	NO
	Tensión máxima (MPa)	222,055	1970	-180	410,2	
6b	Deformación máxima (mm)	2,243	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	52,821	370	0	288,9	
7	Deformación máxima (mm)	3,487	1970	0	310,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	55,768	370	0	288,9	
8	Deformación máxima (mm)	4,633	1970	0	310,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	56,486	370	0	288,9	
9	Deformación máxima (mm)	12,643	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	155,793	1200	0	220	
9b	Deformación máxima (mm)	8,867	1200	-350	0	SI
	Tensión máxima (MPa)	91,878	1200	0	220	

Tabla 9.171. Resultados de los ensayos para la estructura 3.3.

Luego se obtiene que la estructura 3.3 supera directamente los ensayos 1, 4, 4b, 5, 6b, 7, 8, 9 y 9b. Teniendo en cuenta las barras que se consideran continuas, el resto de ensayos presentan tensiones inferiores al límite elástico del material de las barras, 280 MPa, por tanto esta estructura es válida para todos los ensayos. Representándose en los siguientes subapartados los diagramas de tensiones y deformaciones que sufre la estructura en cada ensayo.

9.6.3.1. Ensayo 1 para la estructura 3.3:

Las deformaciones se recogen en la Figura 9.298, siendo la máxima de 6,040 mm en el extremo delantero izquierdo de la estructura. Apareciéndose en la Figura 9.299 las tensiones de Von Misses.

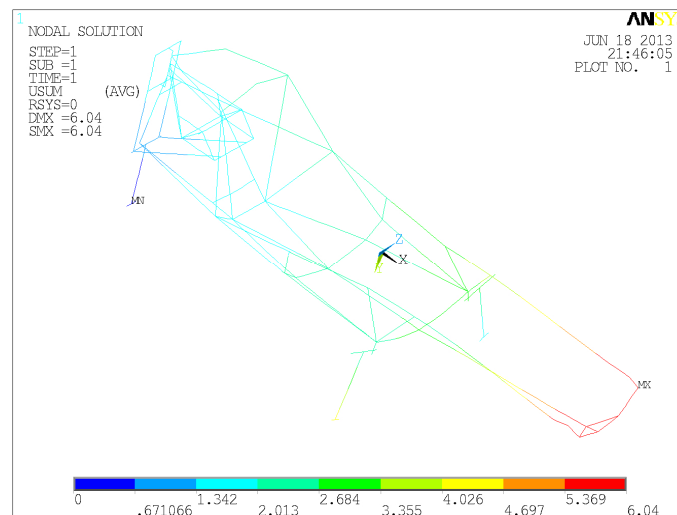


Figura 9.298. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 1.

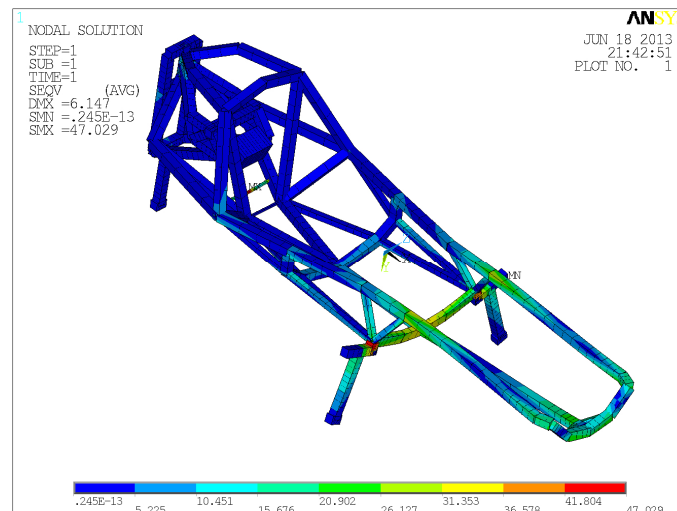


Figura 9.299. Tensiones de Von Misses para el ensayo 1 de la estructura 3.3.

Siendo en este caso la tensión máxima de 47,029 MPa situada en el punto medio de la barra del extintor.

9.6.3.2. Ensayo 2 para la estructura 3.3:

En la Figura 9.300 se representan las deformaciones sufridas por la estructura 3.3 al someterla al ensayo 2, donde la deformación máxima es de 28,107 mm en el extremo superior del arco de seguridad.

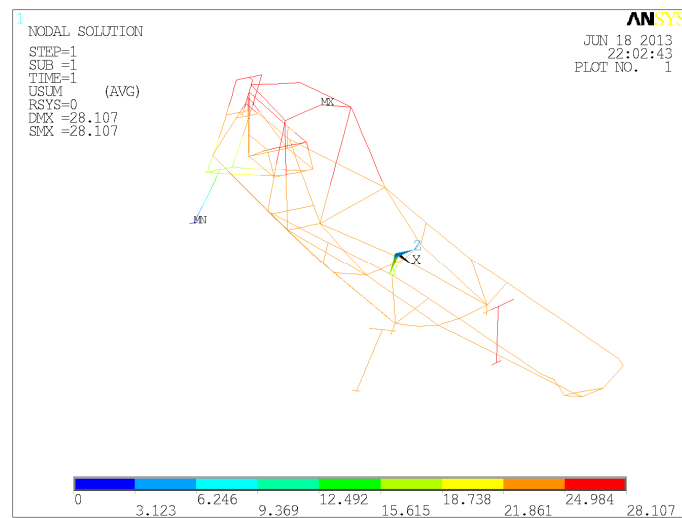


Figura 9.300. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 2.

La distribución de tensiones equivalentes de Von Mises se representa en la Figura 9.301.

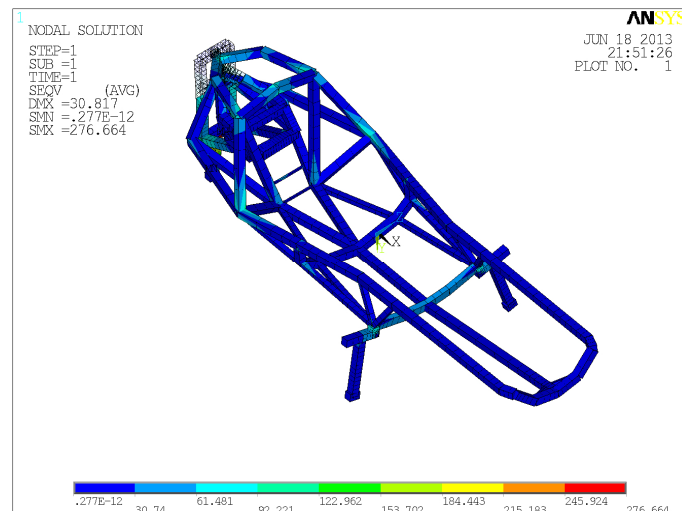


Figura 9.301. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2 de la estructura 3.3.

Siendo la tensión máxima de 276,664 MPa en el punto medio del eje de la rueda trasera y la mayor tensión en la estructura es de 132,383 MPa en la unión del arco de seguridad con el soporte superior derecho del eje de giro. A fin de determinar las regiones de la estructura en que se superan los 40 MPa se han representado en la Figura 9.302 las tensiones inferiores a 40 MPa.

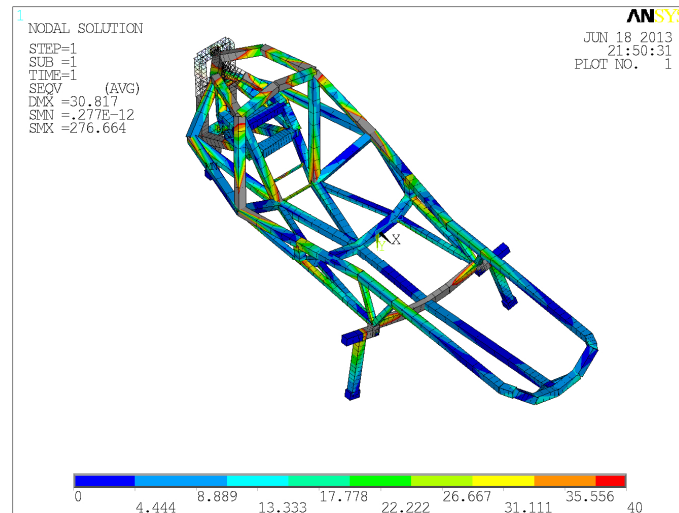


Figura 9.302. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2 de la estructura 3.3.

9.6.3.3. Ensayo 2b para la estructura 3.3:

Para el ensayo 2b de la estructura 3.3 la deformación se representa en la Figura 9.303, su valor máximo es de 25,594 mm y se localiza en el extremo superior del arco de seguridad.

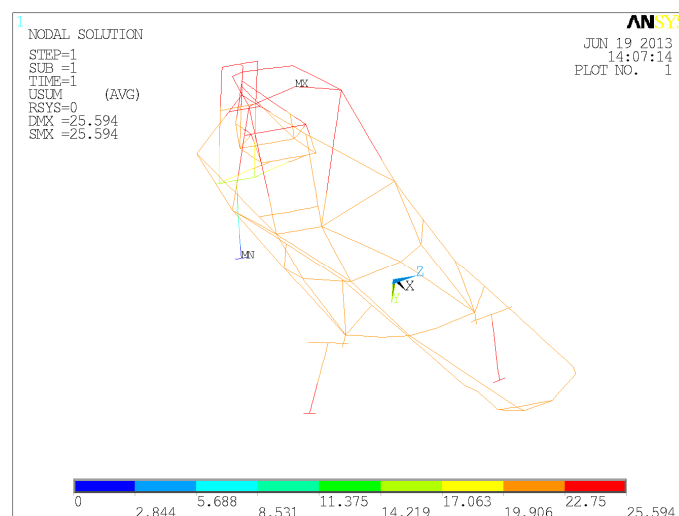


Figura 9.303. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 2b.

La distribución de tensiones equivalentes de Von Misses se representa en la Figura 9.304, observándose que la tensión máxima del ensayo tiene un valor de 280,231 MPa y se localiza en el punto medio del eje de la rueda trasera. Y la tensión máxima en la estructura es de 123,502 MPa en la unión del arco de seguridad con el soporte superior izquierdo del eje de giro.

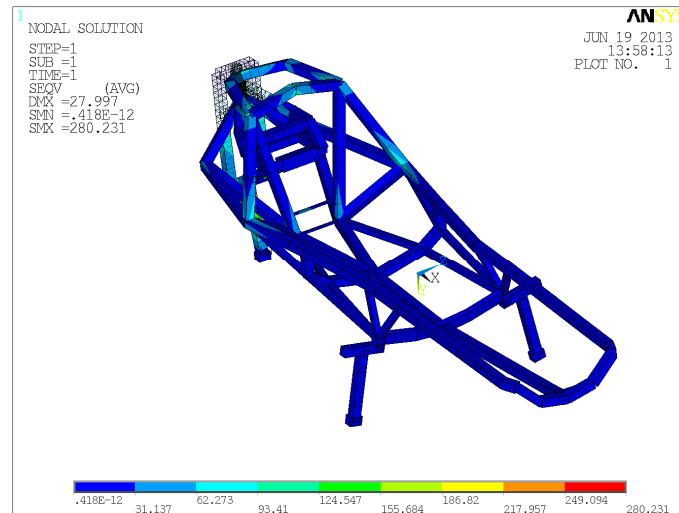


Figura 9.304. Tensiones de Von Misses para el ensayo 2b de la estructura 3.3.

Para determinar las áreas en donde se superan las tensiones admisibles se realiza una nueva representación, que se puede apreciar en la Figura 9.305, de las tensiones equivalentes limitando la tensión máxima a representar a 40 MPa.

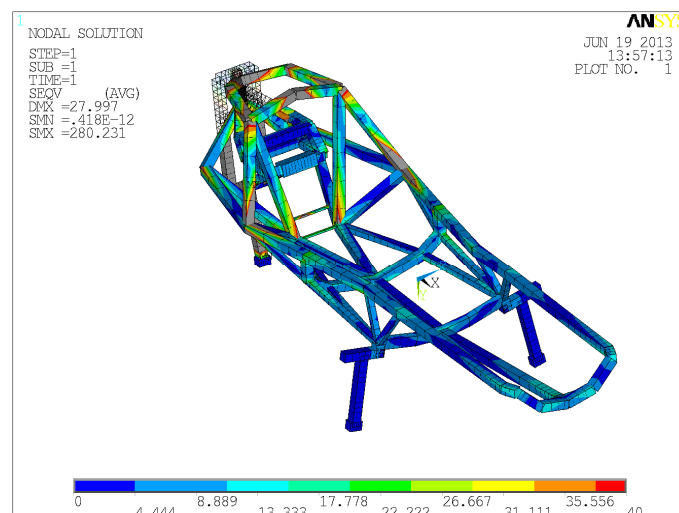


Figura 9.305. Tensiones de Von Misses limitadas a 40 MPa para el ensayo 2b de la estructura 3.3.

9.6.3.4. Ensayo 3 para la estructura 3.3:

En la Figura 9.306 se representa la deformación de la estructura al realizar el ensayo 3.

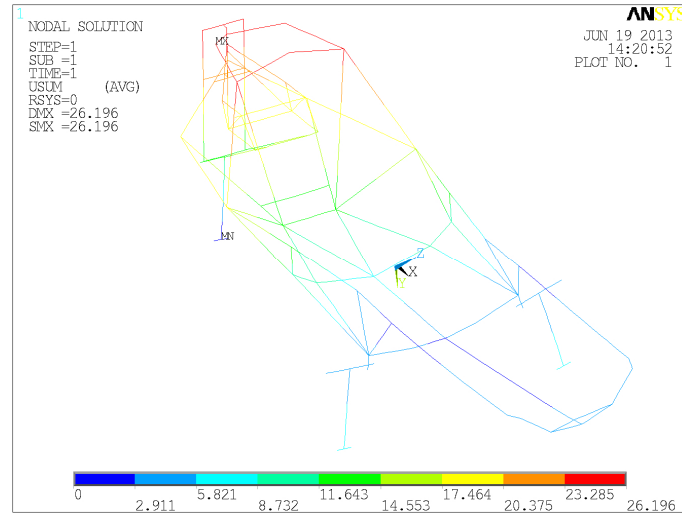


Figura 9.306. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 3.

Resultando que la deformación máxima se localiza en la unión superior derecha del soporte del eje de giro alcanzando un valor de 26,196 mm. En la Figura 9.307 se representa la distribución de tensiones equivalentes de Von Misses de la estructura 3.3.

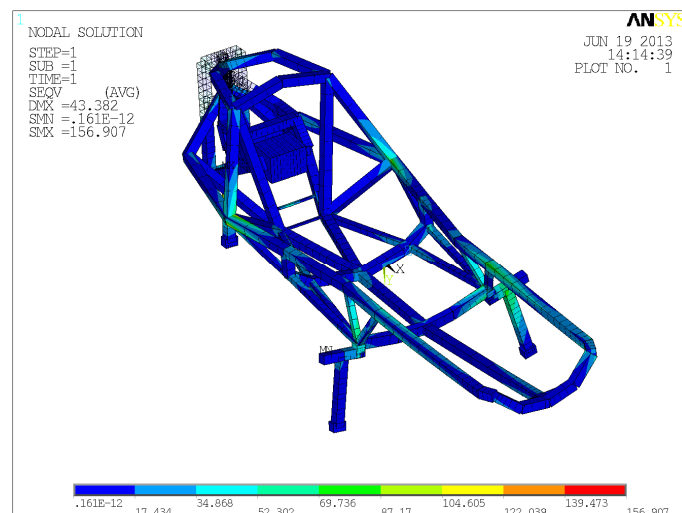


Figura 9.307. Tensiones de Von Misses para el ensayo 3 de la estructura 3.3.

Siendo la mayor tensión en el ensayo 156,907 MPa y se sitúa en el punto medio del eje de la rueda trasera. Y la mayor tensión en la estructura es de 123,536 MPa en la unión del arco de seguridad

con el larguero superior derecho. En este caso la estructura presenta varios puntos de tensiones elevadas debidas principalmente a la torsión introducida a la estructura por el estado tensional considerado. Para facilitar la apreciación de estos puntos se ha procedido a representar las tensiones inferiores a 40 MPa como se puede apreciar en la Figura 9.308.

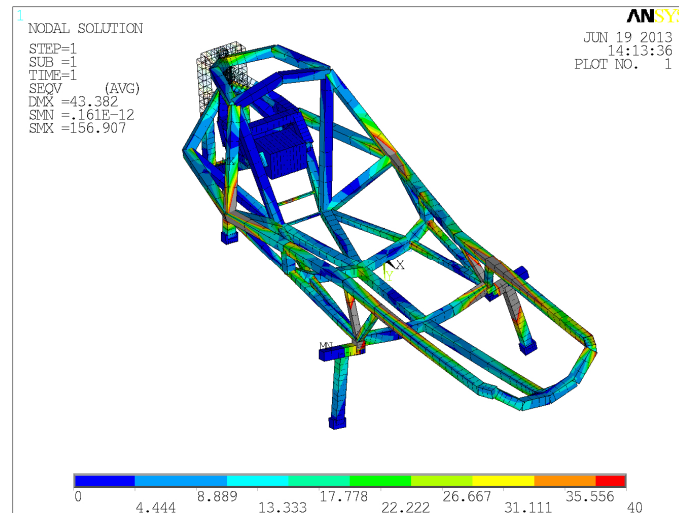


Figura 9.308. Tensiones de Von Mises limitada a 40 MPa para el ensayo 3 de la estructura 3.3.

9.6.3.5. Ensayo 3b para la estructura 3.3:

La representación de la deformación de la estructura 3.3 al someterla al ensayo 3b se puede apreciar en la Figura 9.309, observándose que la deformación máxima de 2,662 mm se localiza en la unión del soporte superior derecho del eje vertical de giro.

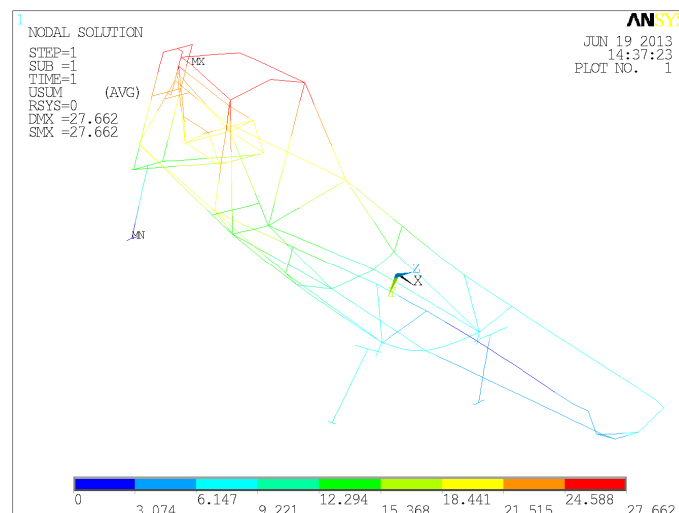


Figura 9.309. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 3b.

La representación de las tensiones equivalentes de Von Misses se realiza en la Figura 9.310.

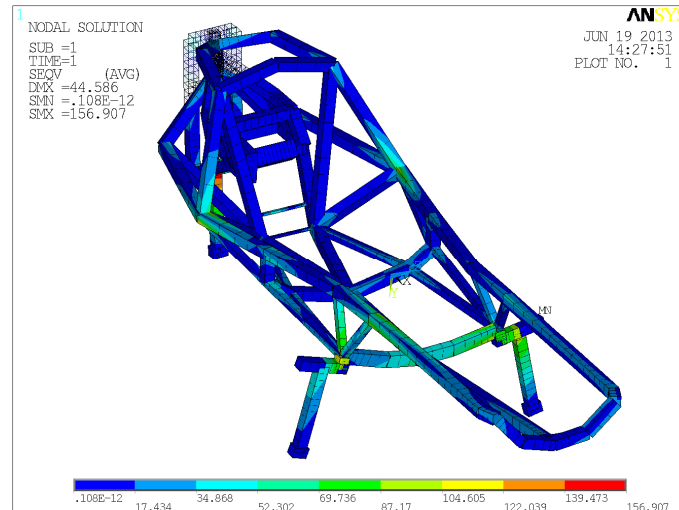


Figura 9.310. Tensiones de Von Misses para el ensayo 3b de la estructura 3.3.

Donde la tensión máxima en el ensayo es de 156,907 MPa en el punto medio del eje de la rueda trasera y la tensión máxima en la estructura es de 123,650 MPa en la unión del arco de seguridad con el larguero superior derecho. A fin de determinar las uniones que se encuentran tensionadas por encima de los 40 MPa, se ha procedido a representar en la Figura 9.311 las tensiones inferiores a 40 MPa.

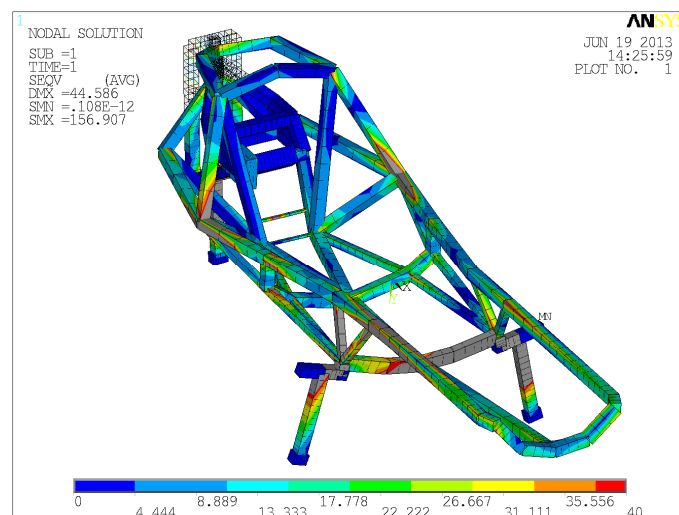


Figura 9.311. Tensiones de Von Misses limitadas a 40 MPa para el ensayo 3b de la estructura 3.3.

9.6.3.6. Ensayo 4 para la estructura 3.3:

En la Figura 9.312 se representa la deformación de la estructura al aplicarse las condiciones del presente ensayo.

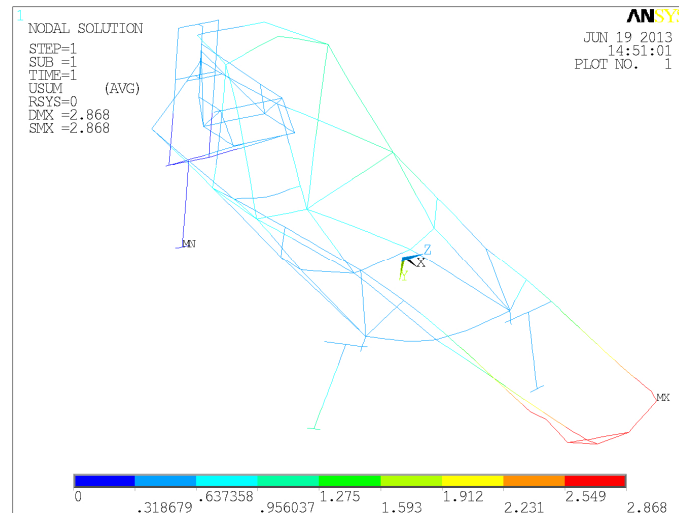


Figura 9.312. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 4.

Como se puede apreciar, la deformación máxima se localiza en el extremo delantero izquierdo de la estructura y toma un valor de 2,868 mm, siendo este resultado coherente con las cargas y restricciones aplicadas. La representación de las tensiones equivalentes de Von Misses se realiza en la Figura 9.313.

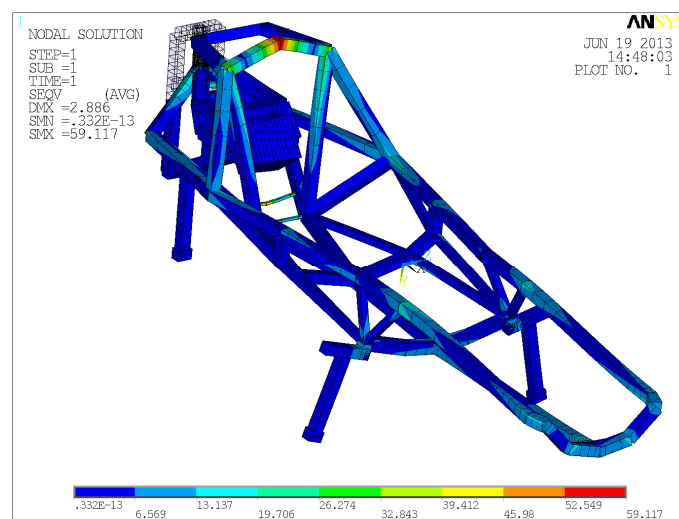


Figura 9.313. Tensiones de Von Misses para el ensayo 4 de la estructura 3.3.

Resultando que la tensión máxima es de 59,117 MPa y se sitúa en el extremo superior del arco de seguridad coincidiendo con el punto de aplicación de la carga principal de este ensayo.

9.6.3.7. Ensayo 4b para la estructura 3.3:

En el ensayo 4b, la representación de la deformación de la estructura se realiza en la Figura 9.314.

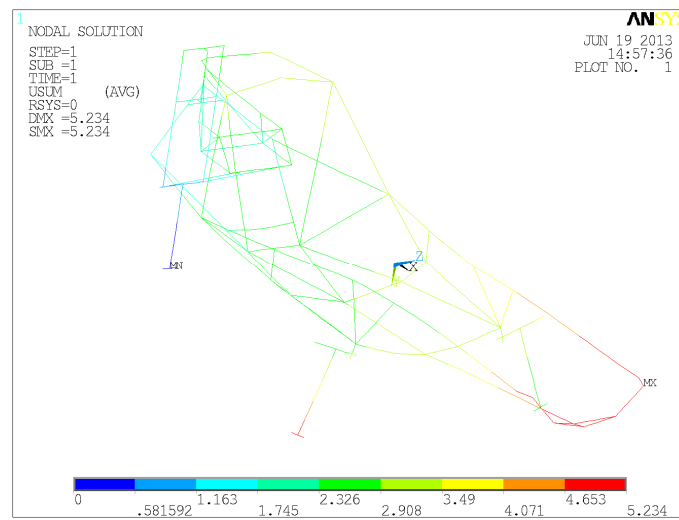


Figura 9.314. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 4b.

Siendo la deformación máxima de 5,234 mm en el extremo delantero izquierdo de la estructura.

En la Figura 9.315 se representan las tensiones equivalentes de Von Mises para este ensayo.

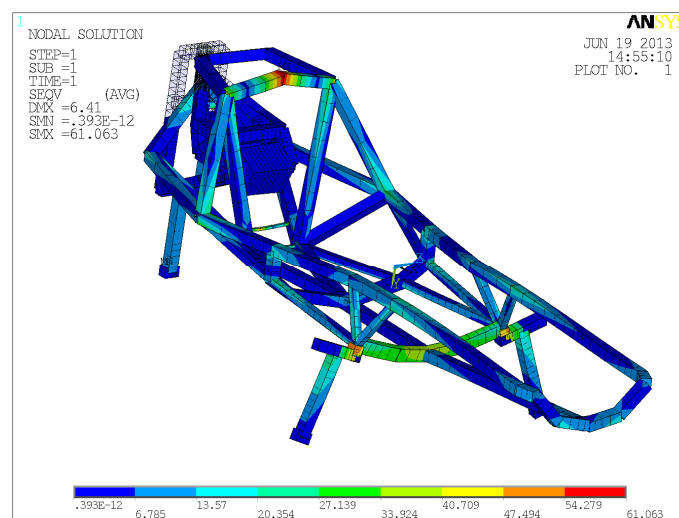


Figura 9.315. Tensiones de Von Mises para el ensayo 4b de la estructura 3.3

Obteniéndose que la tensión máxima de la estructura es de 61,063 MPa y se localiza en el extremo superior del arco de seguridad coincidiendo con el punto de aplicación de la carga principal de este ensayo.

9.6.3.8. Ensayo 5 para la estructura 3.3:

La deformación sufrida por la estructura 3.3 al someterla a este ensayo se puede apreciar en la Figura 9.316, observándose que la deformación máxima de 3,203 mm se da en el extremo delantero izquierdo de la estructura de forma coherente con las restricciones aplicadas. Las tensiones equivalentes de Von Mises que presenta la estructura se recogen en la Figura 9.317.

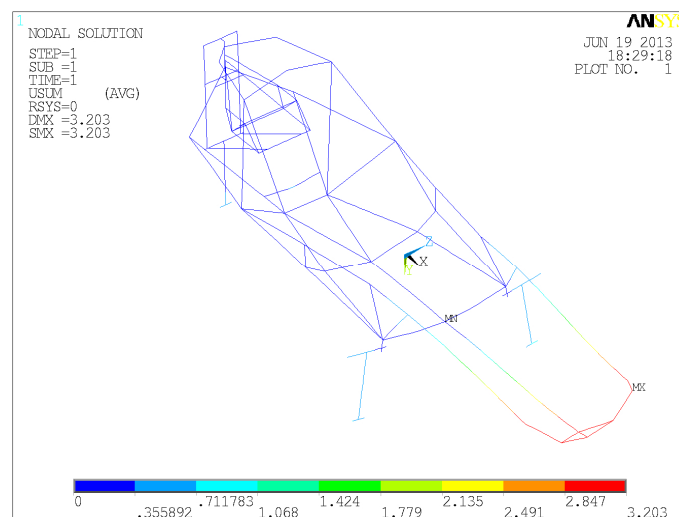


Figura 9.316. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 5.

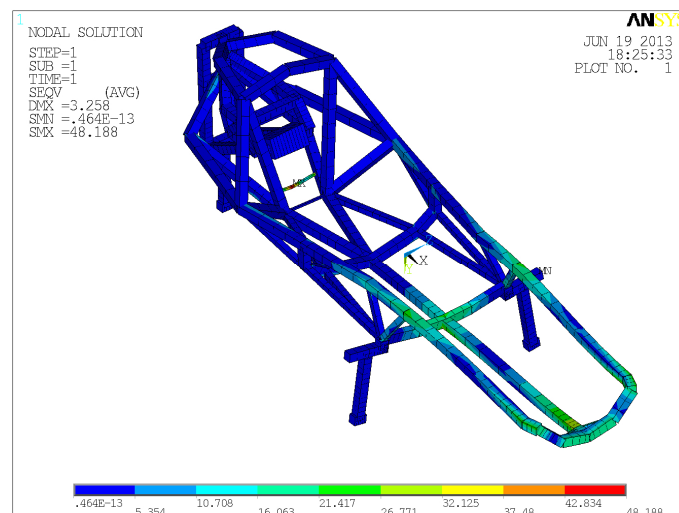


Figura 9.317. Tensiones de Von Mises para el ensayo 5 de la estructura 3.3.

Resultando que la tensión máxima es de 48,188 MPa y se produce en el punto medio de la barra del extintor, por lo que la estructura supera el análisis.

9.6.3.9. Ensayo 6 para la estructura 3.3:

En la Figura 9.318 se representa la deformada de la estructura 3.3 sometida al ensayo 6.

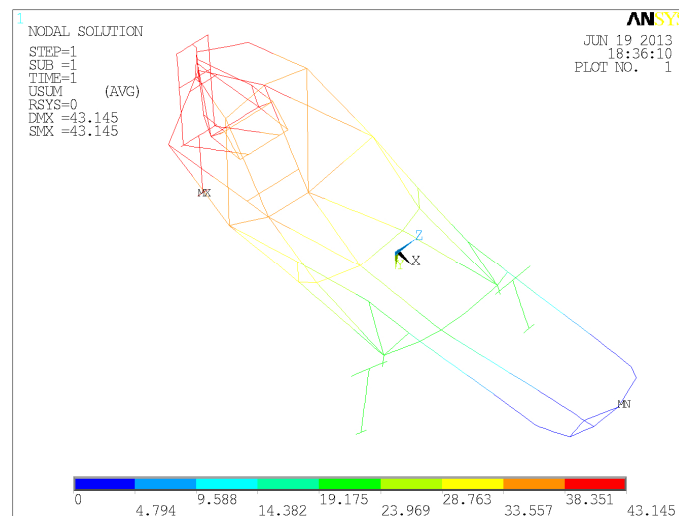


Figura 9.318. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 6.

Apreciándose que la deformación máxima se localiza en el punto de contacto de la rueda trasera con el suelo y toma un valor de 43,145 mm. Este resultado es coherente con las cargas y las restricciones introducidas al modelo de elementos finitos ya que en este ensayo se representa una colisión frontal con lo que las mayores deformaciones es lógico encontrarlas en el punto más alejado del punto de impacto debido a la forma en que se ha coaccionado al modelo.

Las tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura 3.3 para el ensayo 6 se representan en la Figura 9.319. Obteniéndose una tensión máxima de 222,055 MPa en la unión del larguero superior derecho con la barra frontal, como es una tensión principalmente de compresión y además se localiza en los alrededores del empotramiento se considera que la estructura supera el ensayo ya que los puntos de interés en este ensayo son los correspondientes a los anclajes de los cinturones.

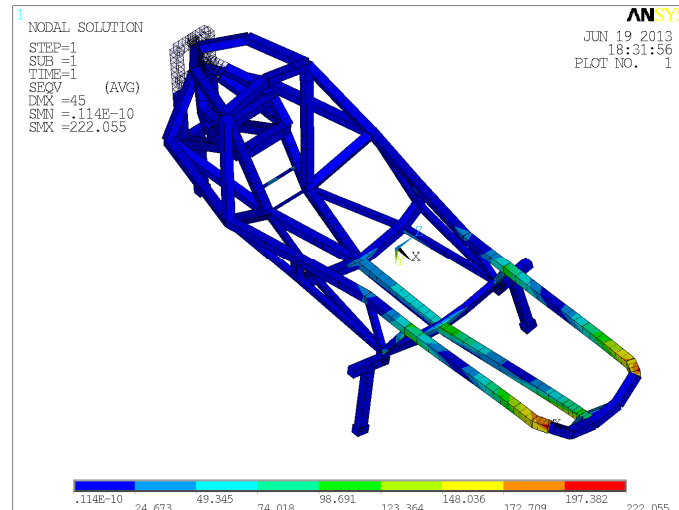


Figura 9.319. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6 de la estructura 3.3.

9.6.3.10. Ensayo 6b para la estructura 3.3:

La representación de la deformación que sufre la estructura en este ensayo se realiza en la Figura 9.320.

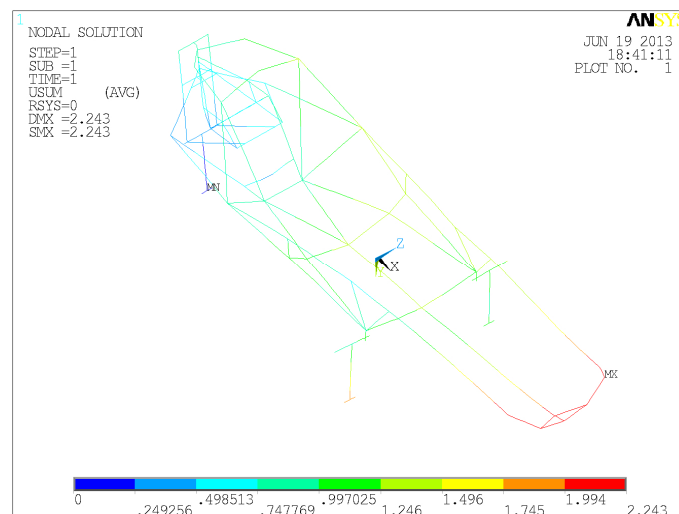


Figura 9.320. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 6b.

Donde se aprecia que la deformación máxima se localiza en el extremo delantero izquierdo de la estructura alcanzando un valor de 2,243 mm. Esta deformada es coherente con las cargas y restricciones aplicadas sobre la estructura. En la Figura 9.321 se puede apreciar la representación de las tensiones equivalentes de Von Mises en la estructura 3.3. Obteniéndose que la tensión máxima es de 52,821 MPa y se sitúa en el punto medio de la barra del extintor.

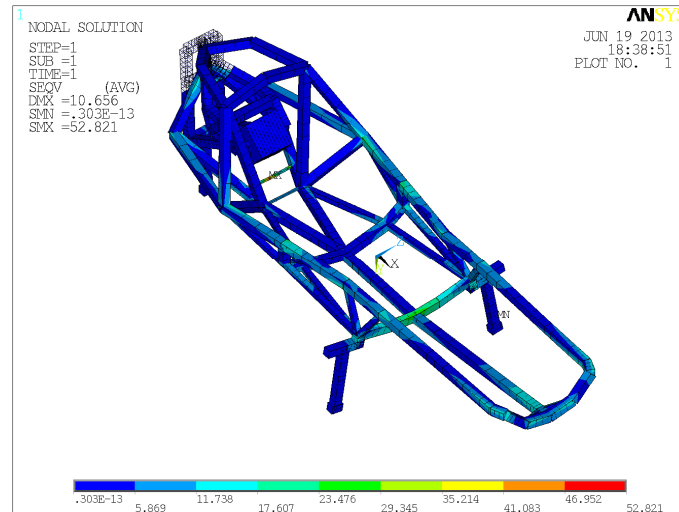


Figura 9.321. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6b de la estructura 3.3.

9.6.3.11. Ensayo 7 para la estructura 3.3:

En el ensayo 7, las deformaciones sufridas por la estructura 3.3 se representan en la Figura 9.322. Resultando que la mayor deformación se produce en el punto medio de la barra frontal con un valor de 3,487 mm.

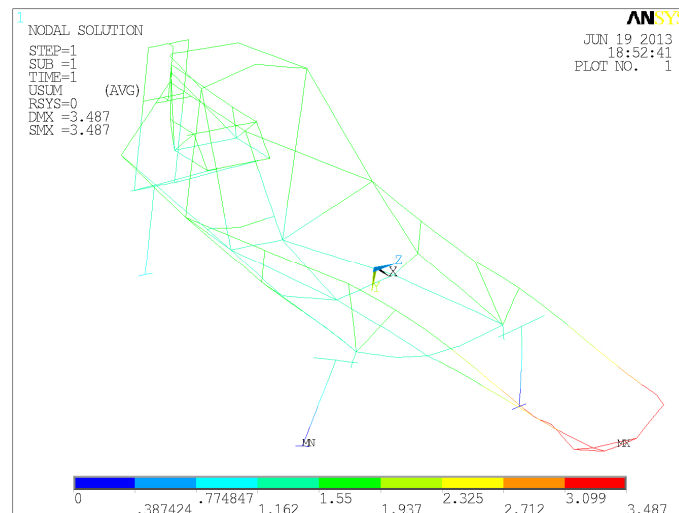


Figura 9.322. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 7.

Y la representación de las tensiones equivalentes de Von Mises se realiza en la Figura 9.323. Apareciéndose que la tensión máxima se localiza en el punto medio de la barra del extintor tomando un valor de 55,768 MPa.

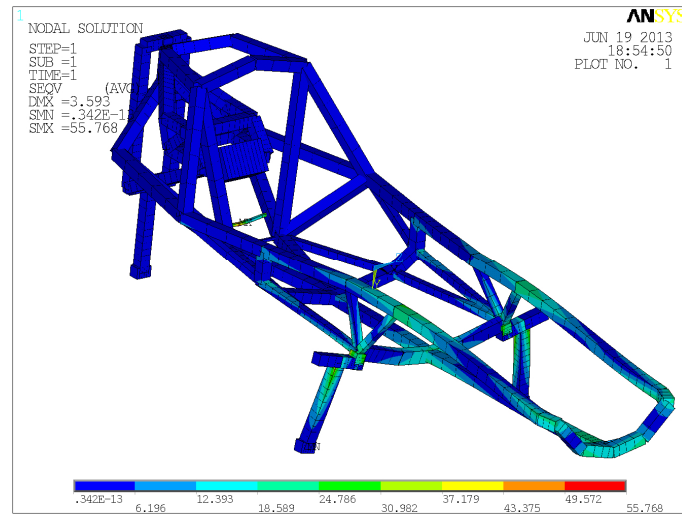


Figura 9.323. Tensiones de Von Mises para el ensayo 7 de la estructura 3.3.

9.6.3.12. Ensayo 8 para la estructura 3.3:

Representándose en la Figura 9.324 la deformada de la estructura 3.3 para este ensayo. Donde se puede apreciar que la deformación máxima se localiza en el punto medio de la barra frontal alcanzando un valor de 4,633 mm coherente con las tensiones y restricciones aplicadas al modelo.

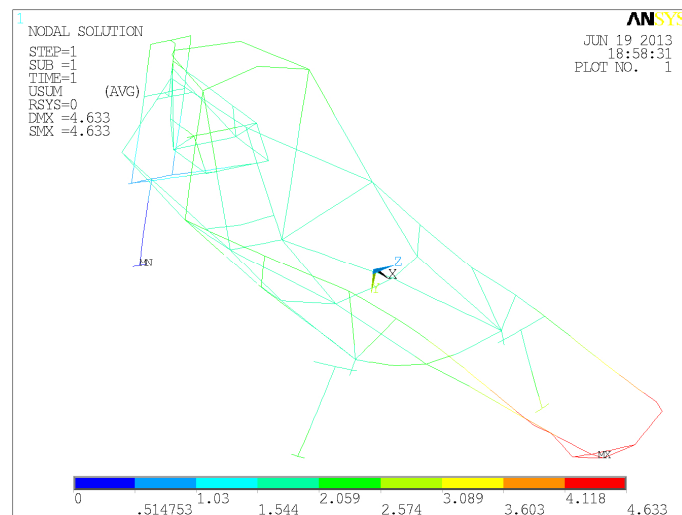


Figura 9.324. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 8.

Las tensiones equivalentes de Von Mises se representan en la Figura 9.325, observándose que la tensión máxima es 56,486 MPa y se sitúa en el punto medio de la barra del extintor.

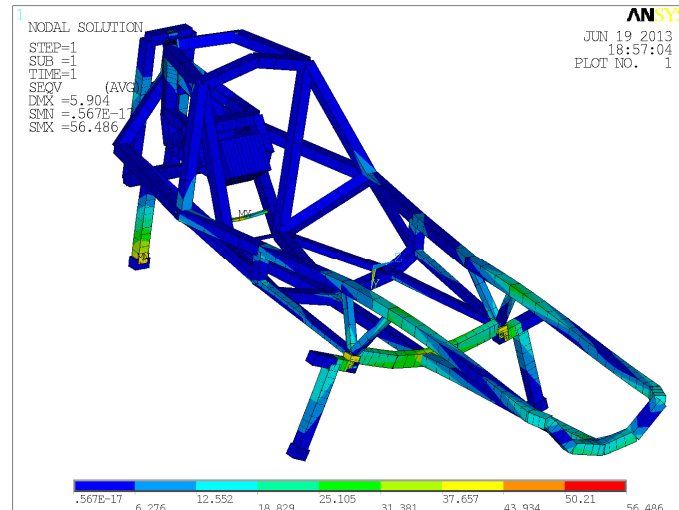


Figura 9.325. Tensiones de Von Mises para el ensayo 8 de la estructura 3.3.

9.6.3.13. Ensayo 9 para la estructura 3.3:

En la Figura 9.326 se puede apreciar la deformación sufrida por la estructura al realizar el ensayo. Donde se obtiene que la deformación máxima es 12,643 mm y se localiza en el extremo delantero izquierdo de la estructura. Observándose que la deformada es coherente con las cargas y restricciones aplicadas.

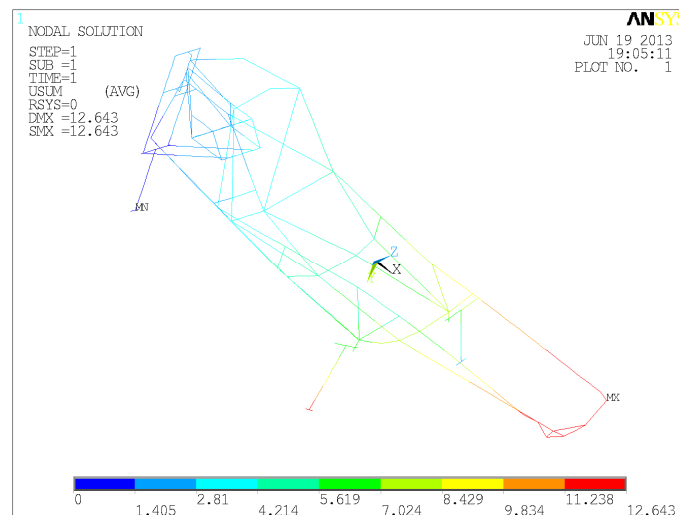


Figura 9.326. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 9.

La representación de las tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura se puede apreciar en la Figura 9.327, resultando que la mayor tensión es de 155,793 MPa en el punto medio del eje. A fin de comprobar que todas las tensiones que soporta el modelo de elementos finitos en el

ensayo 9 son aceptables para la estructura, en concreto para el adhesivo seleccionado para la unión de las distintas barras que conforman la estructura 3.3 se realiza en la Figura 9.328 una representación de las tensiones inferiores a 40 MPa que es la tensión máxima admisible por el adhesivo. Resultando que dichas tensiones solo se superan en el eje del prototipo y en los soportes de este.

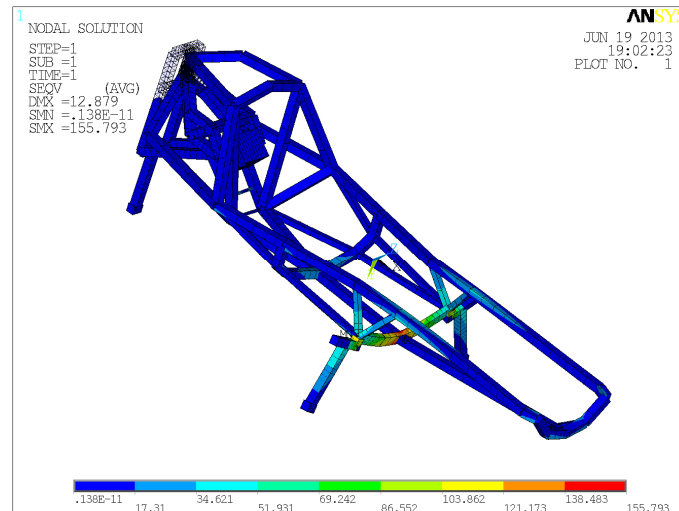


Figura 9.327. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9 de la estructura 3.3.

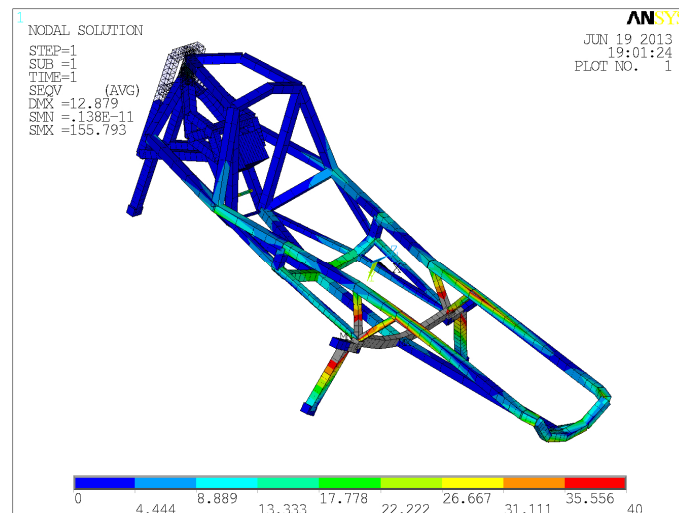


Figura 9.328. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 9 de la estructura 3.3.

9.6.3.14. Ensayo 9b para la estructura 3.3:

Las deformaciones resultantes de aplicar el ensayo 9b a la estructura 3.3 se representan en la Figura 9.329. Obteniéndose que la mayor deformación se localiza en el punto de contacto de la

rueda delantera derecha con la calzada con un valor de 8,867 mm, que es coherente con las cargas y restricciones aplicadas en este ensayo.

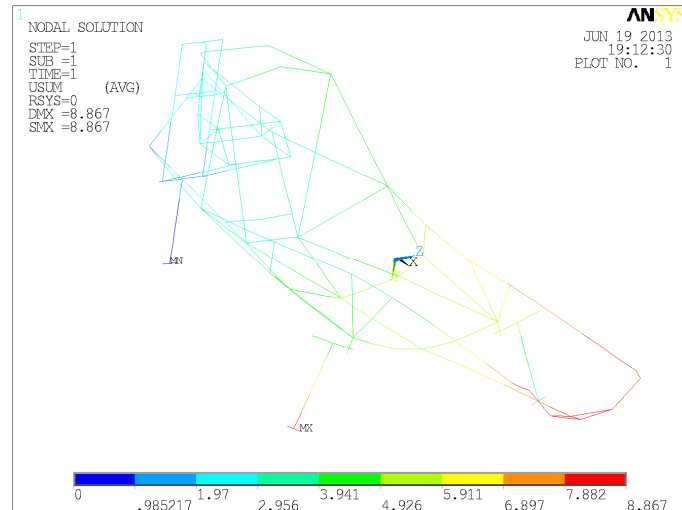


Figura 9.329. Deformaciones de la estructura 3.3 al someterse al ensayo 9b.

Las tensiones equivalentes de Von Mises se pueden apreciar en la Figura 9.330.

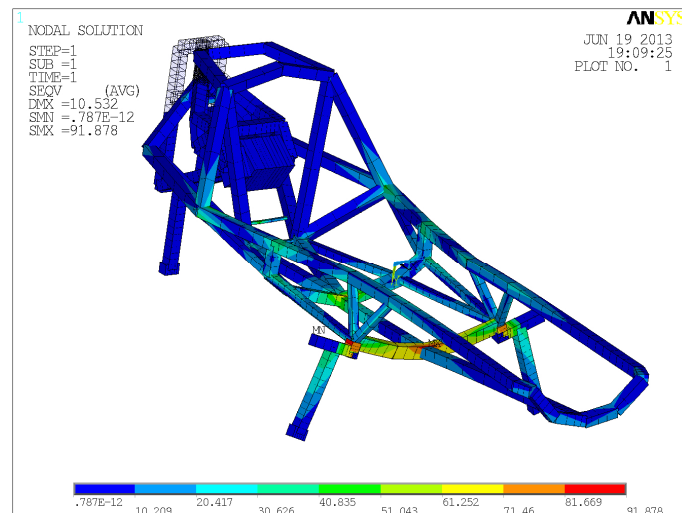


Figura 9.330. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9b de la estructura 3.3.

Siendo la tensión máxima 91,878 MPa en el punto medio del eje coincidiendo con la unión con el larguero inferior de la estructura. A fin de verificar que la estructura es válida se representan en la Figura 9.331 las tensiones inferiores a 40 MPa, que es la tensión máxima admisible por el adhesivo seleccionado para la realización de las uniones.

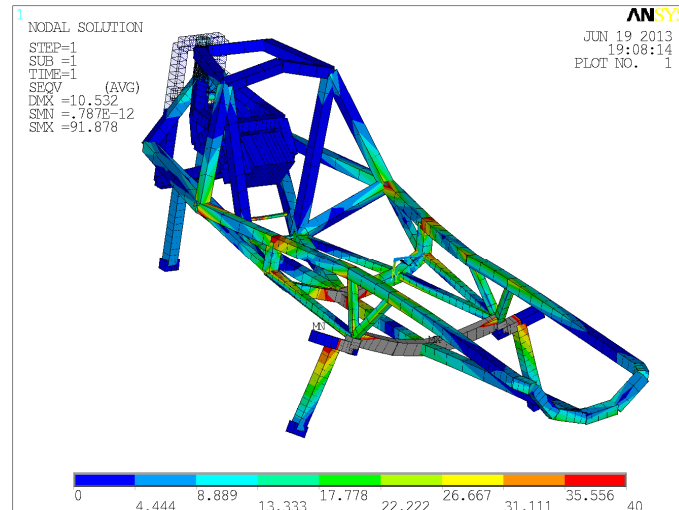


Figura 9.331. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 9b de la estructura 3.3.

9.6.4. Estructura 3.4:

Habiendo superado la estructura 3.3 todos los ensayos, se aligera: reduciendo el diámetro de los largueros inferiores traseros, de la parte inferior del arco de seguridad, de los soportes del respaldo y de la barra frontal hasta los 20 mm, manteniendo el espesor de 1 mm. Resultando que el modelo en elementos finitos de la estructura alcanza una masa de 11,361 kg, de los que 2,944 kg corresponden a la masa de los elementos necesarios para la realización de los ensayos y 8,417 kg a la masa de la estructura como se aprecia en la Figura 9.332. Recogiéndose en la Tabla 9.172 los resultados de los ensayos.

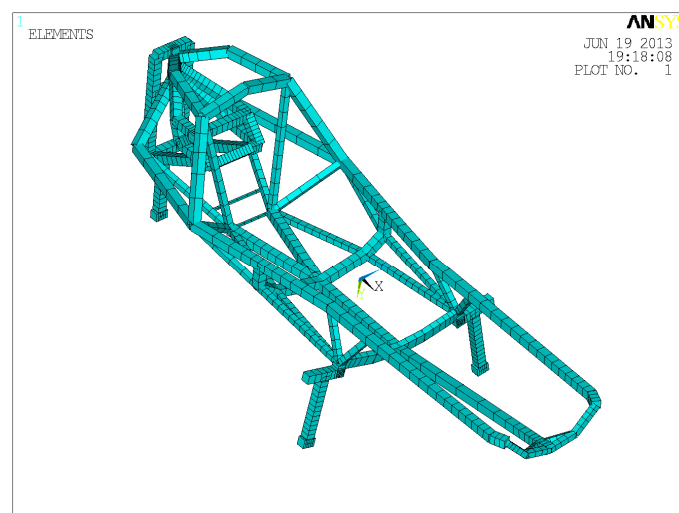


Figura 9.332. Representación isométrica del mallado de la estructura 3.4.

Ensayo	Medida	Valor	Cota longitudinal (mm)	Cota transversal (mm)	Cota vertical (mm)	Ensayo superado
1	Deformación máxima (mm)	6,608	1970	100	330,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	48,008	370	0	288,9	
2	Deformación máxima (mm)	28,914	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	276,687	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	139,431	370	-170	690	
2b	Deformación máxima (mm)	26,351	370	0	730	NO
	Tensión máxima (MPa)	280,208	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	130,113	370	170	690	
3	Deformación máxima (mm)	26,879	150	-110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	156,884	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	126,261	520	-300	410,2	
3b	Deformación máxima (mm)	28,372	150	-110	690	NO
	Tensión máxima (MPa)	156,884	0	0	250	
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	123,357	520	300	410,2	
4	Deformación máxima (mm)	3,370	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	62,783	370	0	730	
4b	Deformación máxima (mm)	5,430	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	64,905	370	0	730	
5	Deformación máxima (mm)	3,745	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	49,301	370	0	288,9	
6	Deformación máxima (mm)	42,877	0	0	0	NO
	Tensión máxima (MPa)	220,012	1970	-180	410,2	
6b	Deformación máxima (mm)	2,590	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	51,954	370	0	288,9	
7	Deformación máxima (mm)	3,990	1970	100	330,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	55,776	370	0	288,9	
8	Deformación máxima (mm)	5,198	1970	0	310,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	56,591	370	0	288,9	
9	Deformación máxima (mm)	13,220	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	160,261	1200	0	220	
9b	Deformación máxima (mm)	9,125	1970	180	410,2	SI
	Tensión máxima (MPa)	93,833	1200	0	220	

Tabla 9.172. Resultados de los ensayos para la estructura 3.4.

Considerando que la barra frontal, los largueros superiores, el larguero inferior salvo en su unión con el eje, los largueros inferiores traseros, el eje, el travesaño y la parte superior del arco de seguridad se realizaran en barras continuas dobladas resulta que la estructura 3.4 supera todos los ensayos, es decir, de forma directa supera los ensayos 1, 4, 4b, 5, 6b, 7, 8, 9 y 9b; teniendo en cuenta dichas barras el resto de los ensayos son superados por la estructura al no alcanzarse el límite elástico del material. Por tanto, esta es la versión definitiva de la estructura, mostrándose a continuación las representaciones de las deformaciones y las tensiones en la estructura 3.4 para cada ensayo.

9.6.4.1. Ensayo 1 para la estructura 3.4:

La representación de la deformación de la estructura 3.4 al someterla al ensayo 1 se realiza en la Figura 9.333. Obteniéndose que la deformación máxima de 6,608 mm se localiza en la unión de la barra frontal con el refuerzo izquierdo que une la barra frontal con el larguero inferior.

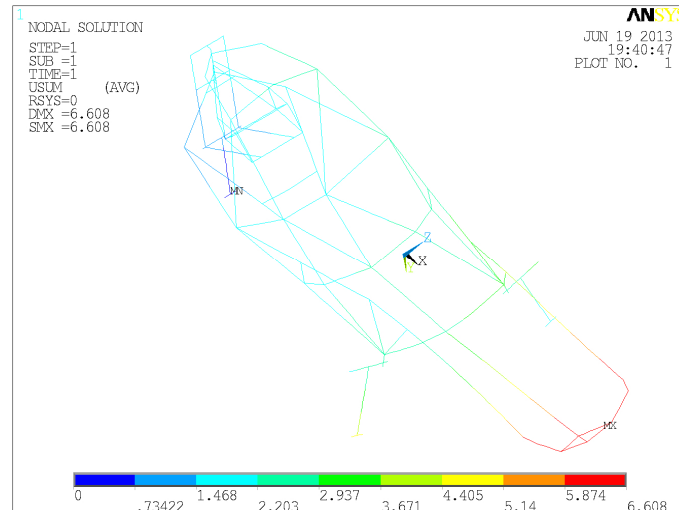


Figura 9.333. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 1.

Las tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura 3.4 al someterla a las cargas debidas al ensayo 1 se recogen en la Figura 9.334. Localizándose la tensión máxima en el punto medio de la barra del extintor con un valor 48,008 MPa.

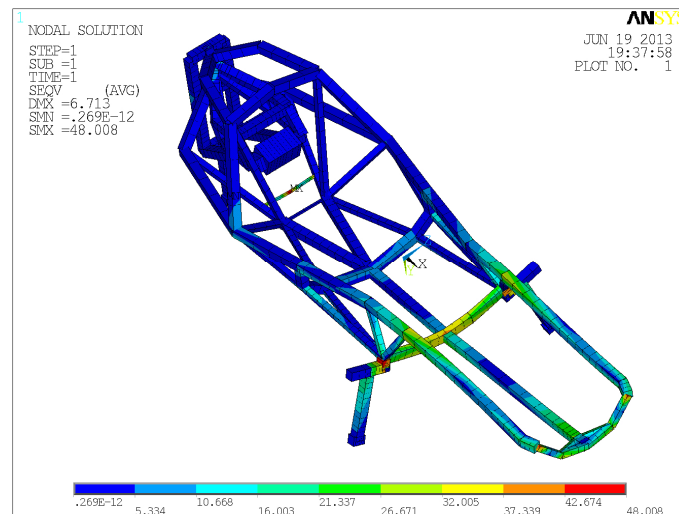


Figura 9.334. Tensiones de Von Mises para el ensayo 1 de la estructura 3.4.

9.6.4.2. Ensayo 2 para la estructura 3.4:

En la Figura 9.335 se representa la deformación de la estructura al someterse al ensayo 2, donde se aprecia que la deformación máxima se localiza en el extremo superior del arco de seguridad alcanzado un valor de 28,914 mm, siendo coherente con los resultados esperados del ensayo.

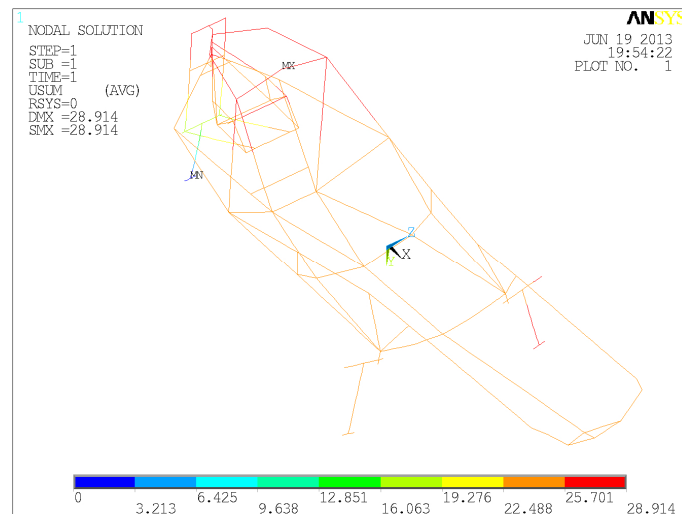


Figura 9.335. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 2.

La representación de las tensiones equivalentes de Von Mises se puede apreciar en la Figura 9.336, siendo la tensión máxima en el ensayo de 276,687 MPa en el punto medio del eje de la rueda trasera y la tensión máxima en la estructura de 139,431 MPa en la unión del arco de seguridad con el soporte superior derecho del eje de giro.

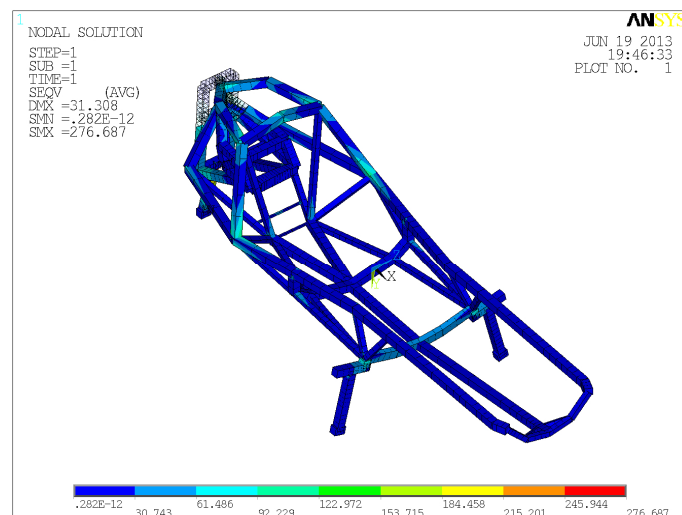


Figura 9.336. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2 de la estructura 3.4.

Para mostrar que las mayores tensiones se localizan en la zona cercana a la tensión máxima se representan en la Figura 9.337 las tensiones limitadas a 40 MPa.

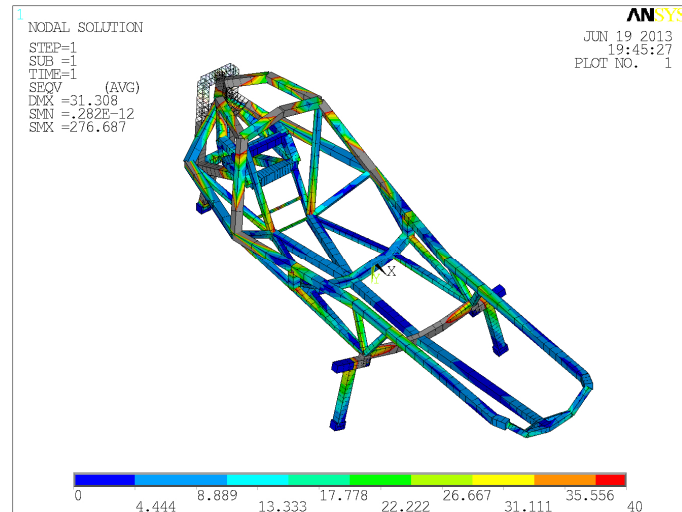


Figura 9.337. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2 de la estructura 3.4.

9.6.4.3. Ensayo 2b para la estructura 3.4:

Para el ensayo 2b de la estructura 3.4 las deformaciones sufridas por la estructura se aprecian en la Figura 9.338.

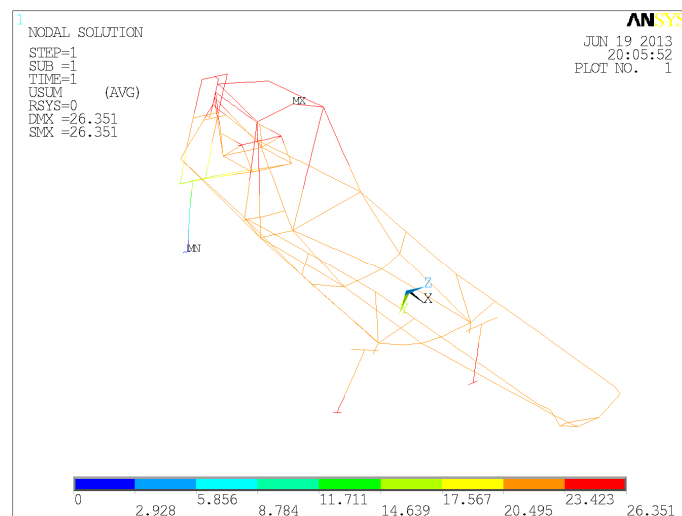


Figura 9.338. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 2b.

Obteniéndose que la deformación máxima que sufre la estructura es de 26,351 mm y se sitúa en el extremo superior del arco de seguridad de forma consistente con los resultados del mismo ensayo sobre las estructuras anteriores. En la Figura 9.339 se representan las tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura 3.4 para este ensayo.

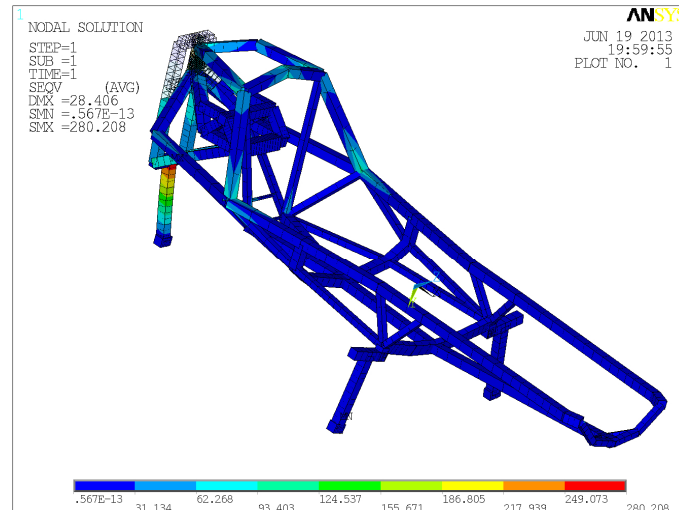


Figura 9.339. Tensiones de Von Mises para el ensayo 2b de la estructura 3.4.

Resultando que la tensión máxima en el ensayo es de 280,208 MPa en el punto medio del eje de la rueda trasera y la tensión máxima en la estructura es de 130,113 MPa en la unión del arco de seguridad con el soporte superior izquierdo del eje de giro. A fin de mostrar más claramente que la estructura es válida se representan en la Figura 9.340, las tensiones inferiores a 40 MPa.

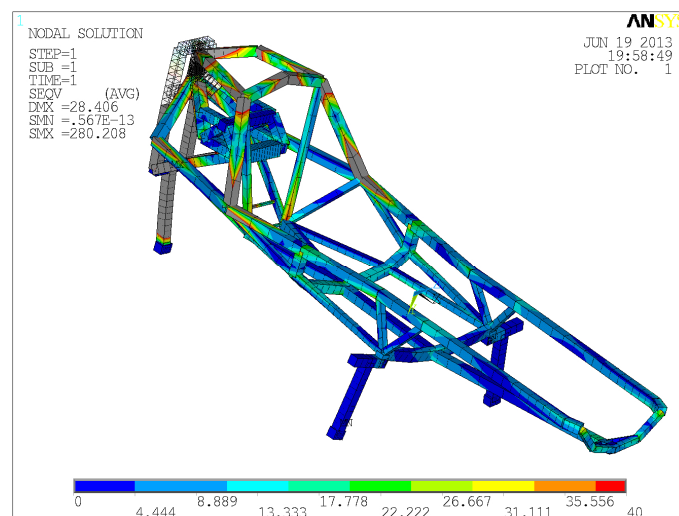


Figura 9.340. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 2b de la estructura 3.4.

9.6.4.4. Ensayo 3 para la estructura 3.4:

La deformada de la estructura 3.4 aplicado el ensayo 3 se representa en la Figura 9.341, siendo la deformación máxima de 26,879 mm y localizándose en la unión del soporte superior derecho del

eje de giro, como era previsible en base a los ensayos realizados sobre las versiones anteriores de la estructura 2.

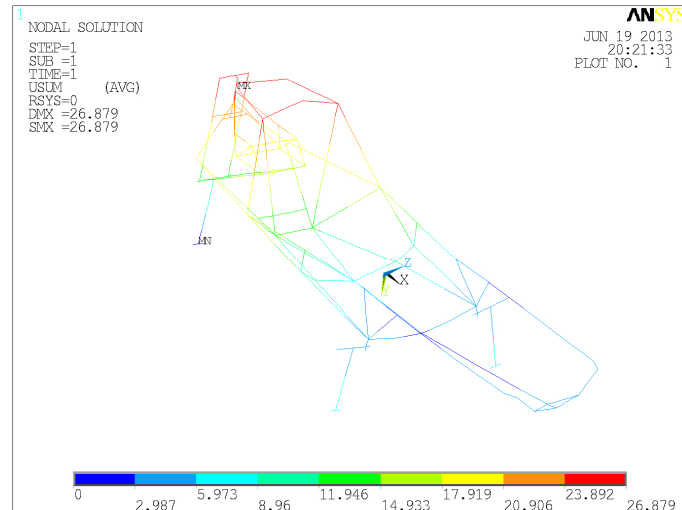


Figura 9.341. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 3.

En la Figura 9.342 se representan las tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura.

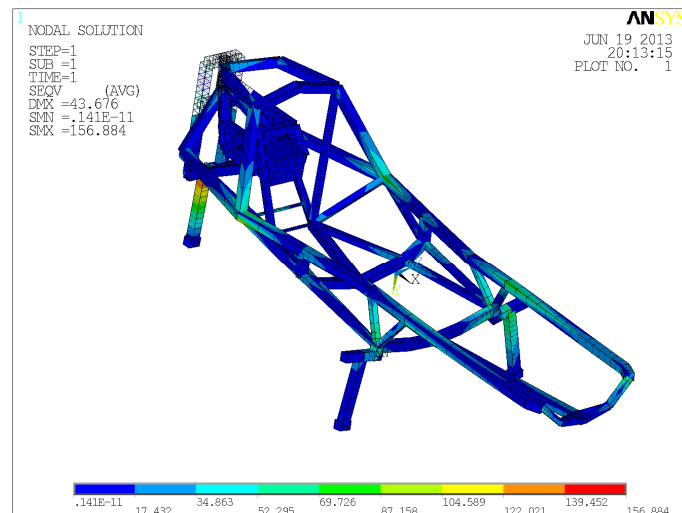


Figura 9.342. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3 de la estructura 3.4.

Donde se aprecia que la tensión máxima en el ensayo es de 156,884 MPa y se sitúa en el punto medio del eje de la rueda trasera. La tensión máxima en la estructura es de 126,261 MPa en la unión del arco de seguridad y el larguero superior derecho. Para verificar que la estructura es valida se representan en la Figura 9.343 las tensiones limitadas a 40 MPa.

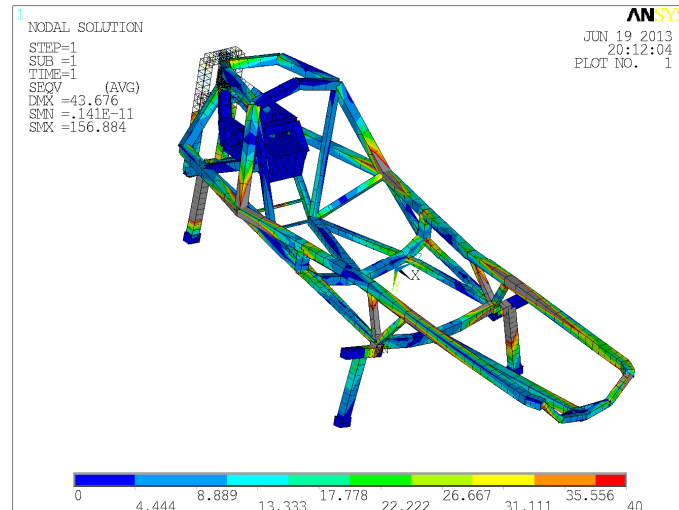


Figura 9.343. Tensiones de Von Mises limitada a 40 MPa para el ensayo 3 de la estructura 3.4.

9.6.4.5. Ensayo 3b para la estructura 3.4:

Para el ensayo 3b de la estructura 3.4 la deformación de la estructura se puede apreciar en la Figura 9.344. Obteniéndose que la deformación máxima es de 28,372 mm en la unión del soporte superior derecho del eje de giro.

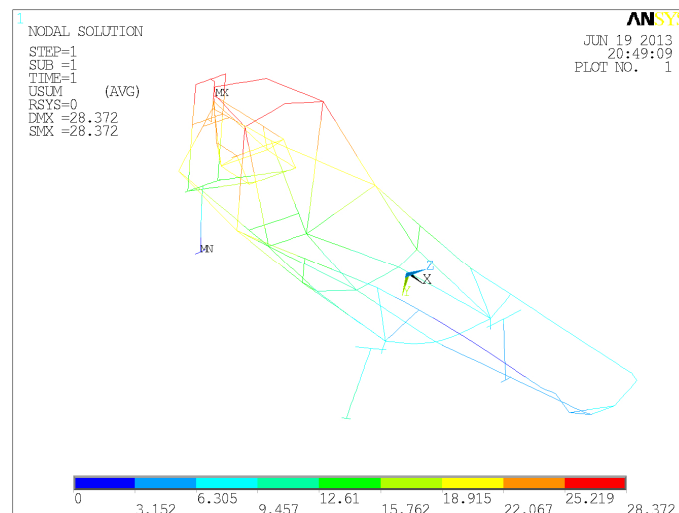


Figura 9.344. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 3b.

Las tensiones equivalentes de Von Mises de la estructura se representan en la Figura 9.345. Estando la mayor tensión del ensayo localizada en el punto medio del eje de la rueda trasera y alcanzando un valor de 156,884 MPa. La tensión máxima en la estructura se encuentra en la unión del arco de seguridad con el larguero superior izquierdo con un valor de 123,357 MPa.

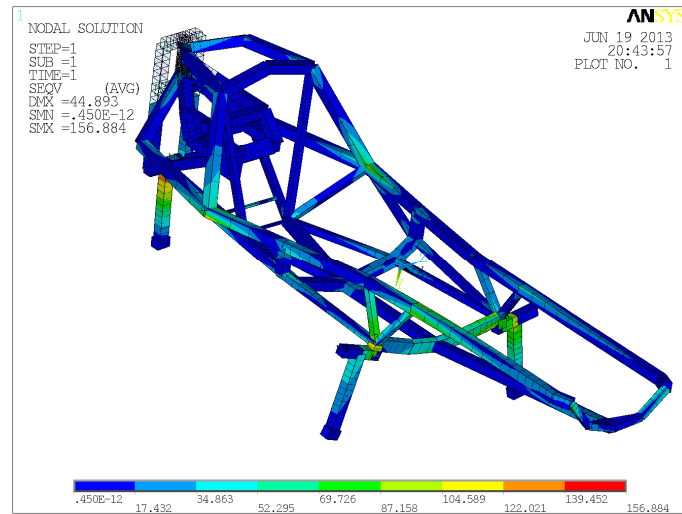


Figura 9.345. Tensiones de Von Mises para el ensayo 3b de la estructura 3.4.

Para mostrar más claramente las zonas más tensionadas en este ensayo se representan las tensiones inferiores a 40 MPa en la Figura 9.346.

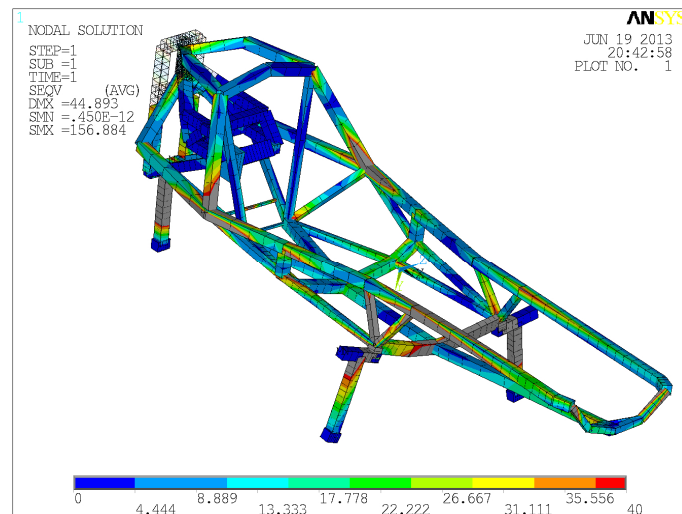


Figura 9.346. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 3b de la estructura 3.4.

9.6.4.6. Ensayo 4 para la estructura 3.4:

En la Figura 9.347 se representan las deformaciones de la estructura al someterla a las cargas y restricciones de este ensayo. Resultando que la deformación máxima es de 3,370 mm y se sitúa en el extremo delantero izquierdo de la estructura, como era esperable.

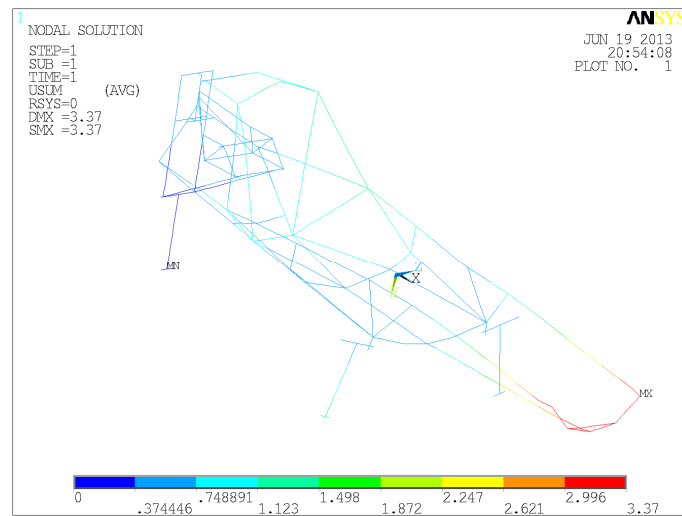


Figura 9.347. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 4.

En la Figura 9.348 se representan las tensiones equivalentes de Von Misses de la estructura, donde se aprecia que la tensión máxima es de 62,783 MPa y se localiza en el extremo superior del arco de seguridad.

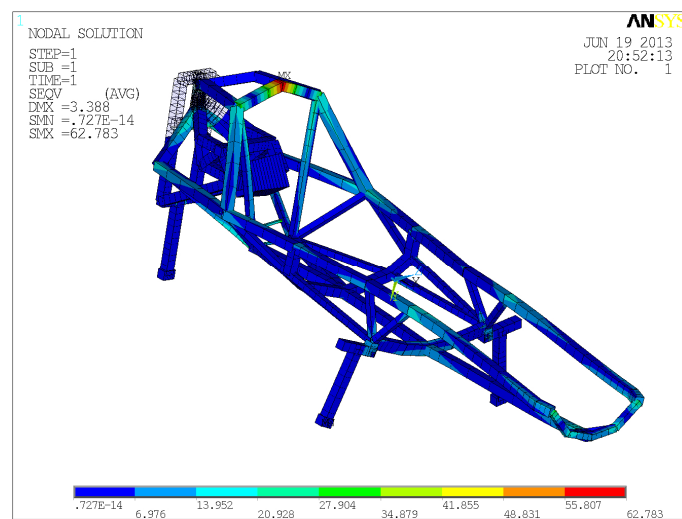


Figura 9.348. Tensiones de Von Misses para el ensayo 4 de la estructura 3.4.

9.6.4.7. Ensayo 4b para la estructura 3.4:

En el ensayo 4b, la deformada de la estructura se representa en la Figura 9.349. Obteniéndose que la mayor deformación se localiza en el extremo delantero izquierdo alcanzando un valor de 5,430 mm.

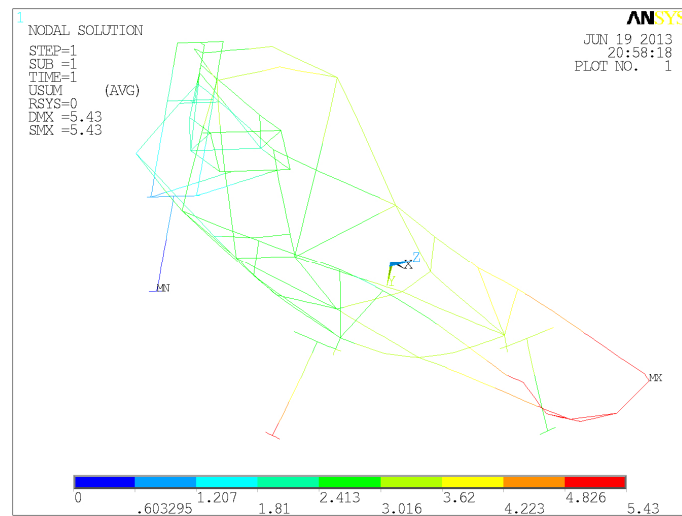


Figura 9.349. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 4b.

En la Figura 9.350 se pueden apreciar las tensiones equivalentes de Von Misses. Resultando que la tensión máxima de la estructura es de 64,905 MPa en el extremo superior del arco de seguridad.

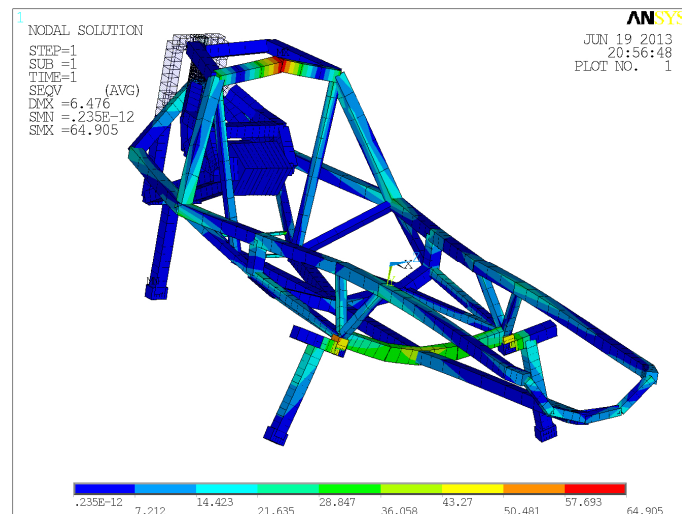


Figura 9.350. Tensiones de Von Misses para el ensayo 4b de la estructura 3.4.

9.6.4.8. Ensayo 5 para la estructura 3.4:

Las deformaciones sufridas por la estructura 3.4 al ser sometida al ensayo 5 se aprecian en la Figura 9.351, siendo la deformación máxima de 3,745 mm en el extremo delantero izquierdo de la estructura.

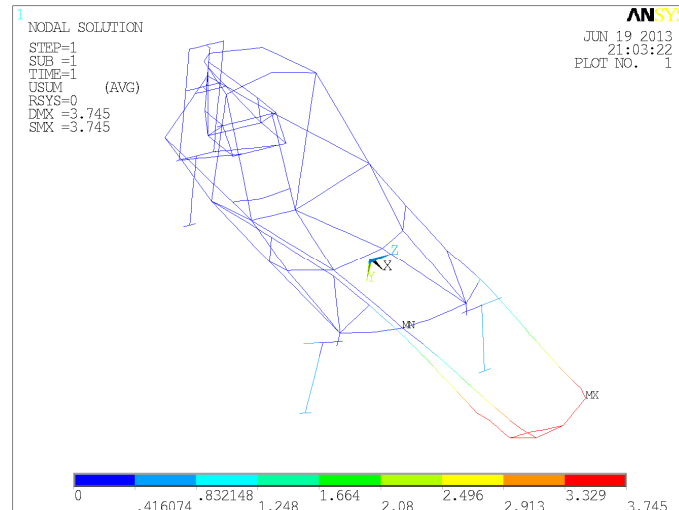


Figura 9.351. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 5.

Y las tensiones equivalentes de Von Mises se representan en la Figura 9.352. Obteniéndose que la mayor tensión se localiza en el punto medio de la barra del extintor alcanzado un valor de 49,301 MPa.

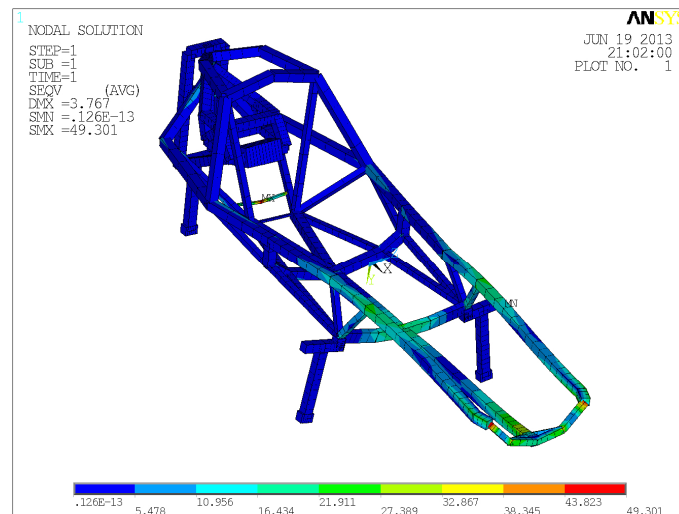


Figura 9.352. Tensiones de Von Mises para el ensayo 5 de la estructura 3.4.

9.6.4.9. Ensayo 6 para la estructura 3.4:

En la Figura 9.353 se puede apreciar la deformación de la estructura al aplicarle las cargas y restricciones del ensayo 6. Donde se obtiene que la deformación máxima es 42,877 mm y se sitúa en el punto de contacto de la rueda trasera con la calzada. Apiciándose que la deformación sufrida por la estructura es coherente con las cargas y restricciones del ensayo.

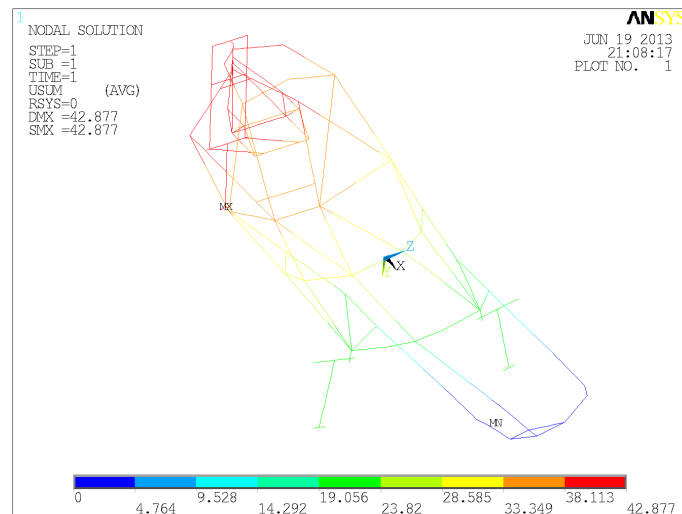


Figura 9.353. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 6.

Las tensiones equivalentes de Von Mises se representan en la Figura 9.354.

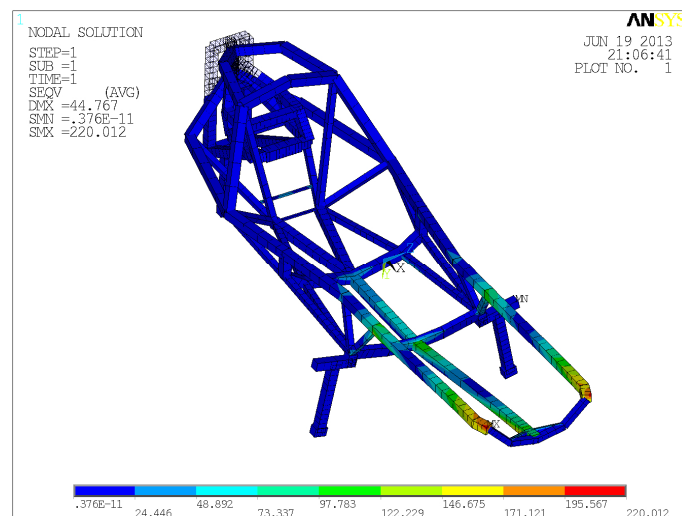


Figura 9.354. Tensiones de Von Mises para el ensayo 6 de la estructura 3.4.

Siendo la tensión máxima 220,012 MPa en el extremo delantero derecho de la estructura.

9.6.4.10. Ensayo 6b para la estructura 3.4:

La deformación de la estructura 3.4 al someterla al ensayo 6b se representa en la Figura 9.355. Resultando que la mayor deformación se localiza en el extremo delantero izquierdo y tiene un valor de 2,590 mm.

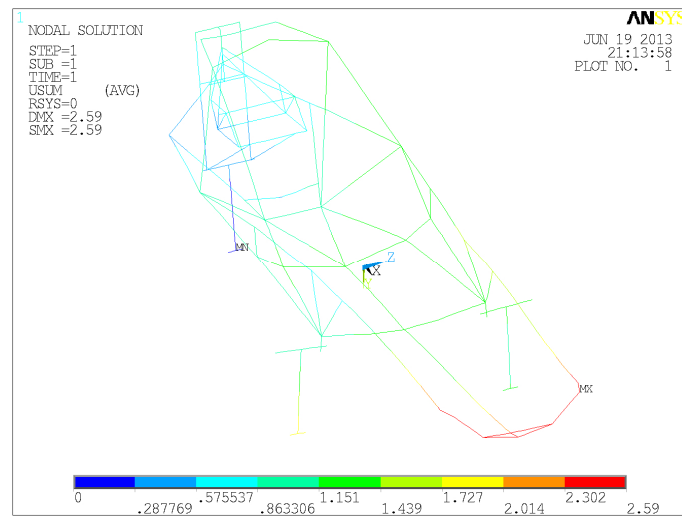


Figura 9.355. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 6b.

Las tensiones equivalentes de Von Misses correspondientes a este ensayo se aprecian en la Figura 9.356. Obteniéndose que la tensión máxima es de 51,954 MPa en el punto medio de la barra del extintor.

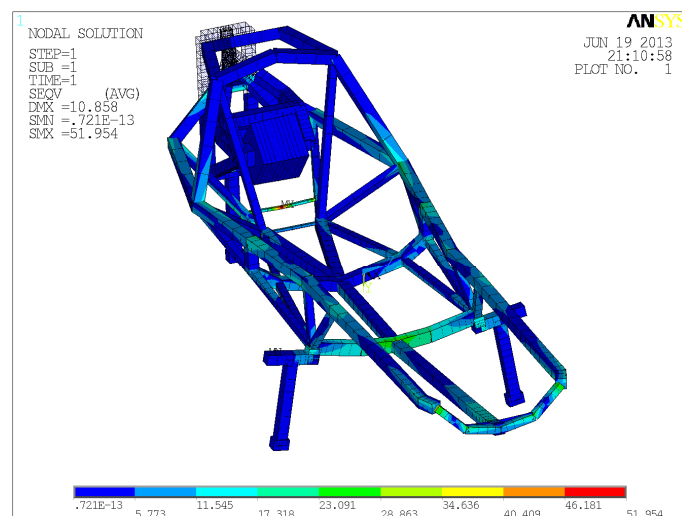


Figura 9.356. Tensiones de Von Misses para el ensayo 6b de la estructura 3.4.

9.6.4.11. Ensayo 7 para la estructura 3.4:

Las deformaciones sufridas por la estructura 3.4 al aplicar las cargas y restricciones de este ensayo se recogen en la Figura 9.357, siendo la deformación máxima de 3,990 mm en la unión de la barra frontal con el refuerzo izquierdo.

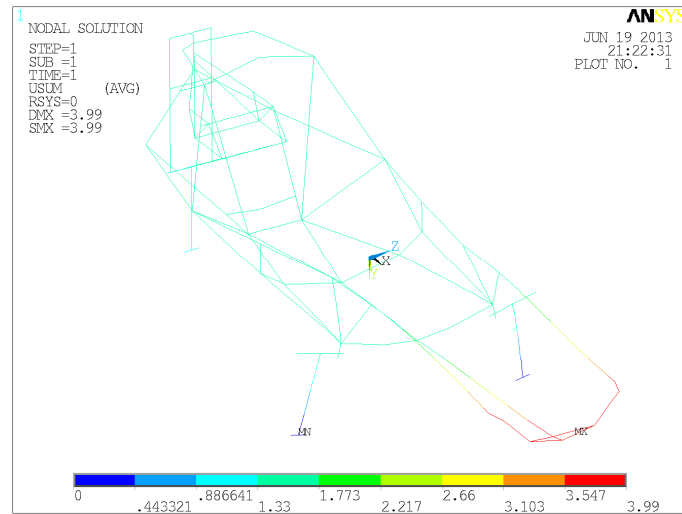


Figura 9.357. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 7.

Las tensiones equivalentes de Von Misses se aprecian en la Figura 9.358, donde la mayor tensión se localiza en el punto medio de la barra del extintor con un valor de 55,776 MPa.

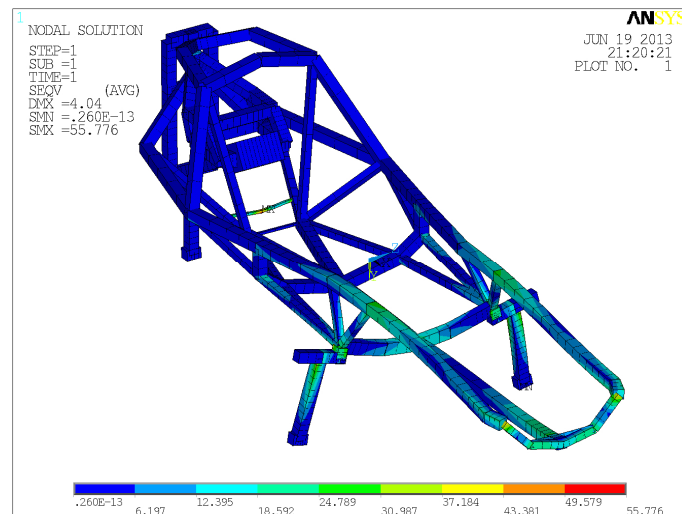


Figura 9.358. Tensiones de Von Misses para el ensayo 7 de la estructura 3.4.

9.6.4.12. Ensayo 8 para la estructura 3.4:

Para el ensayo 8, la deformación de la estructura 3.4 se recoge en la Figura 9.359, donde la mayor deformación se localiza en el punto medio de la barra frontal con un valor de 5,198 mm.

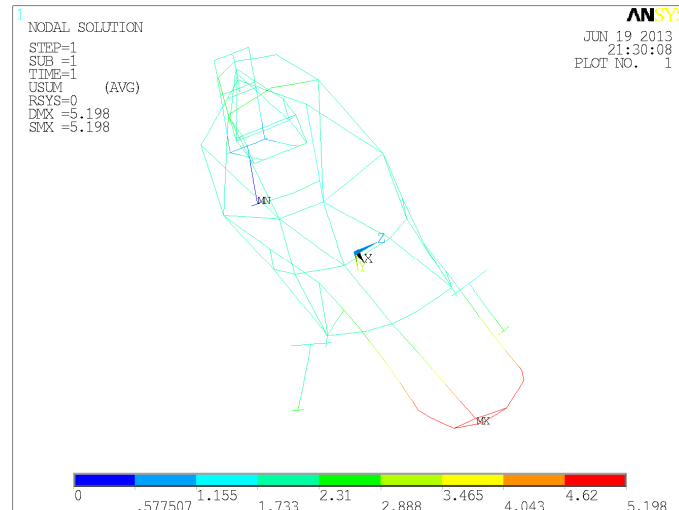


Figura 9.359. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 8.

Las tensiones equivalentes de Von Mises se recogen en la Figura 9.360, apreciándose que la tensión máxima es de 56,591 MPa en el punto medio de la barra del extintor.

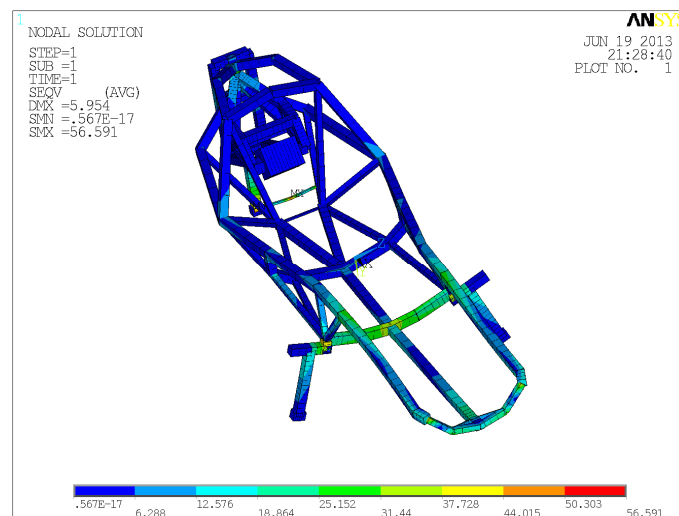


Figura 9.360. Tensiones de Von Mises para el ensayo 8 de la estructura 3.4.

9.6.4.13. Ensayo 9 para la estructura 3.4:

La deformada de la estructura se aprecia en la Figura 9.361. Obteniéndose que la deformación máxima es de 13,220 mm en el extremo delantero izquierdo de la estructura. Y las tensiones equivalentes de Von Mises se representan en la Figura 9.362. Resultando que la tensión máxima se sitúa en el punto medio del eje tomando un valor de 160,261 MPa. A fin de verificar que las uniones son validas se representan en la Figura 9.363 las tensiones inferiores a 40 MPa.

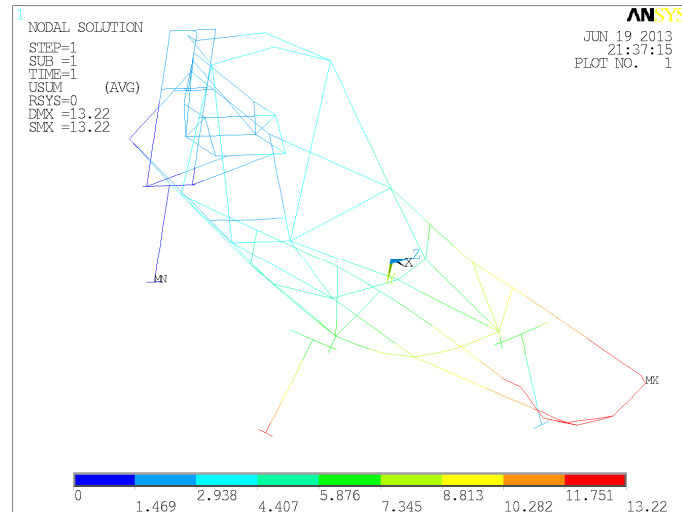


Figura 9.361. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 9.

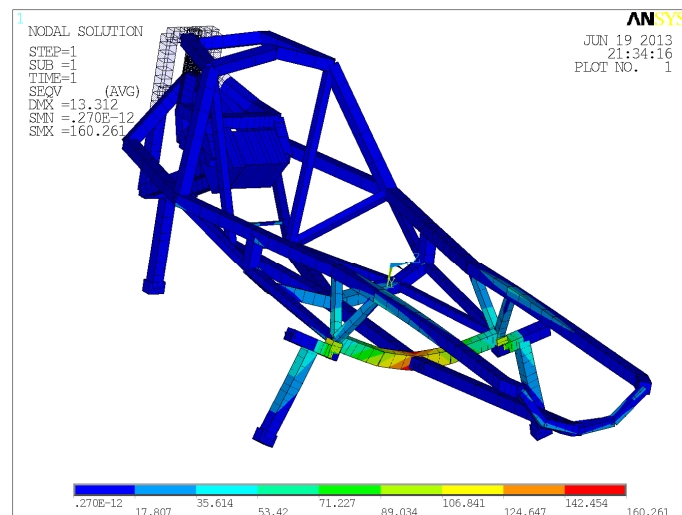


Figura 9.362. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9 de la estructura 3.4.

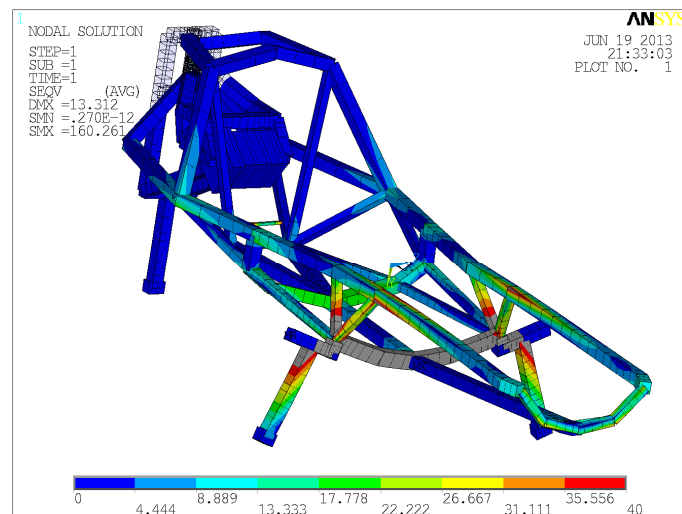


Figura 9.363. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 9 de la estructura 3.4.

9.6.4.14. Ensayo 9b para la estructura 3.4:

En la Figura 9.364 se representan las deformaciones de la estructura 3.4 para el ensayo 9b. Apreciándose que la mayor deformación es de 9,125 mm y se sitúa en el extremo delantero derecho de la estructura. En la Figura 9.365 se puede apreciar una representación de las tensiones equivalentes de Von Mises resultantes de aplicar el ensayo 9b a la estructura 3.4. Resultando que la tensión máxima es de 93,833 MPa y se encuentra en el punto medio del eje. Para mostrar que todas las uniones son validas se representan en la Figura 9.366 las tensiones menores a 40 MPa.

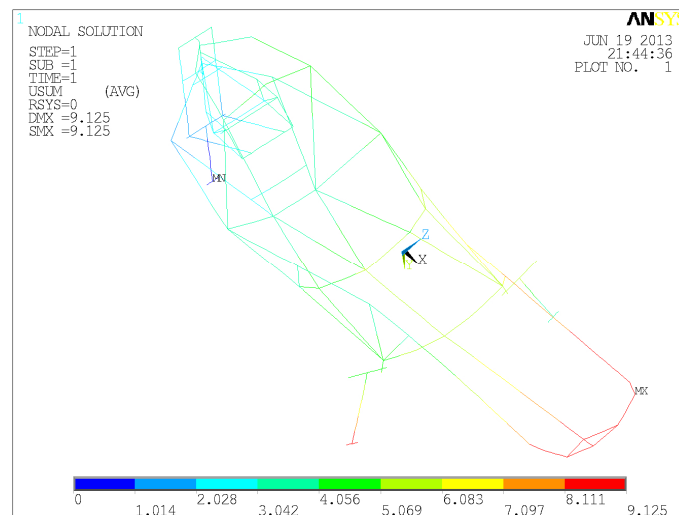


Figura 9.364. Deformaciones de la estructura 3.4 al someterse al ensayo 9b.

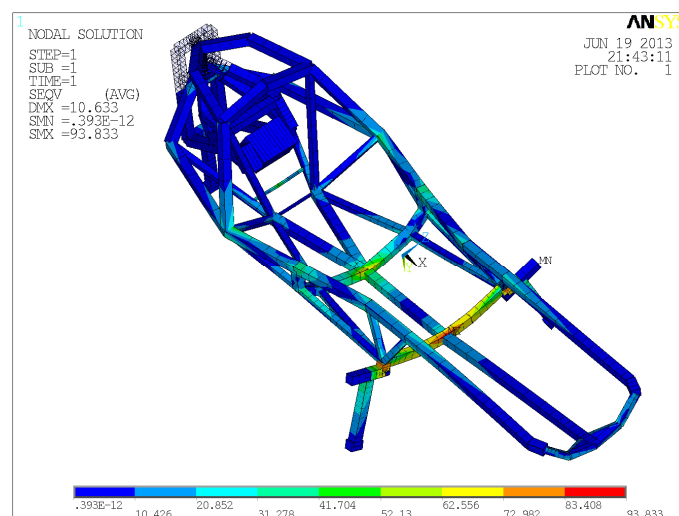


Figura 9.365. Tensiones de Von Mises para el ensayo 9b de la estructura 3.4.

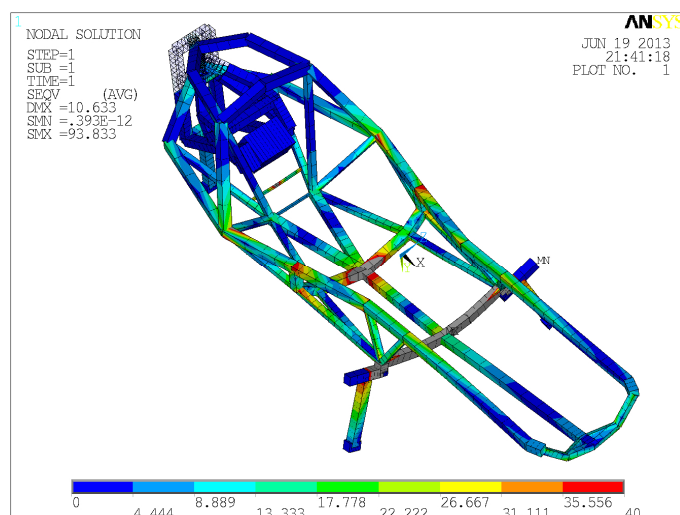


Figura 9.366. Tensiones de Von Mises limitadas a 40 MPa para el ensayo 9b de la estructura 3.4.

9.7. Elección de la mejor estructura

Una vez modificadas las tres estructuras, definidas en el apartado 8.7 del presente documento, de forma que superan los ensayos recogidos en los apartados 8.4 y 8.5, desarrollados en el apartado 9.3 del presente proyecto, se procede a determinar cual de las tres estructuras es la más adecuada para el prototipo que se está diseñando. A modo de recordatorio se recogen los resultados de cada una de las versiones definitivas en la Tabla 9.173.

Analizando los datos de la Tabla 9.173 se llega a la conclusión de que ninguna de las tres estructuras es claramente superior al resto, sino que en algunos ensayos una es mejor que las otras y al revés, no pudiéndose determinar a simple vista cual es la mejor estructura para el prototipo. Por ello, se ha tomado la decisión de crear una formula matemática que en función de la importancia de los ensayos y del nivel tensional relativo de la estructura en dicho ensayo, se asigne una puntuación cuya suma permitirá determinar la estructura más adecuada.

Al no tener todos los ensayos la misma importancia se ha decidido clasificarlos en tres categorías definidas de mayor a menor relevancia del ensayo: ensayos recogidos en la normativa y evaluados por parte de la organización; masa y ensayos recogidos en la normativa no evaluados directamente por la organización; y ensayos no recogidos en la normativa. En la primera categoría entran los ensayos 3, 3b, 4, 4b, 5, 6b, 7 y 8 ya que para estos ensayos se recoge en la normativa el procedimiento de evaluación de los mismos. En la segunda categoría se incluye la masa, al ser un

tema importante a tener en cuenta ya que afecta directamente al consumo del vehículo, y los ensayos 2, 2b y 6 que están recogidos en la normativa, pero que no son analizados. En la tercera categoría se incluyen los ensayos 1, 9 y 9b que se han realizado al considerarse conveniente tener en cuenta estas situaciones a la hora de diseñar el bastidor del prototipo.

estructura		1	2	3
masa		8,393	8,778	8,417
ensayo 1	Deformación máxima (mm)	5,778	5,706	6,608
	Tensión máxima (MPa)	43,191	55,512	48,008
ensayo 2	Deformación máxima (mm)	28,749	25,934	28,914
	Tensión máxima (MPa)	276,807	277,855	276,687
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	139,830	120,740	139,431
ensayo 2b	Deformación máxima (mm)	26,281	24,238	26,351
	Tensión máxima (MPa)	280,088	279,288	280,208
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	131,472	115,682	130,113
ensayo 3	Deformación máxima (mm)	26,648	23,348	26,879
	Tensión máxima (MPa)	156,764	157,542	156,884
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	121,710	111,663	126,261
ensayo 3b	Deformación máxima (mm)	28,184	24,444	28,372
	Tensión máxima (MPa)	156,764	157,927	156,884
	Tensión máxima en la estructura (MPa)	118,442	120,704	123,357
ensayo 4	Deformación máxima (mm)	4,333	5,320	3,370
	Tensión máxima (MPa)	63,154	61,277	62,783
ensayo 4b	Deformación máxima (mm)	6,112	5,137	5,430
	Tensión máxima (MPa)	64,544	61,251	64,905
ensayo 5	Deformación máxima (mm)	3,490	4,772	3,745
	Tensión máxima (MPa)	43,643	59,498	49,301
ensayo 6	Deformación máxima (mm)	48,880	50,716	42,877
	Tensión máxima (MPa)	258,885	245,804	220,012
ensayo 6b	Deformación máxima (mm)	3,301	4,283	2,590
	Tensión máxima (MPa)	44,569	61,160	51,954
ensayo 7	Deformación máxima (mm)	3,385	4,403	3,990
	Tensión máxima (MPa)	47,289	56,511	55,776
ensayo 8	Deformación máxima (mm)	4,737	5,230	5,198
	Tensión máxima (MPa)	47,792	54,475	56,591
ensayo 9	Deformación máxima (mm)	13,907	12,245	13,220
	Tensión máxima (MPa)	153,203	144,564	160,261
ensayo 9b	Deformación máxima (mm)	9,674	7,753	9,125
	Tensión máxima (MPa)	103,239	99,836	93,833

Tabla 9.173. Resumen tensiones y pesos de las estructuras para todos los ensayos.

A cada una de esas categorías se le ha asociado un peso, siendo el mayor para la categoría más importante. En la Tabla 9.174 se indican los valores de dichos pesos junto a los ensayos correspondientes. Con respecto al nivel tensional relativo, se corresponde con la posición resultante de ordenar las tensiones máximas de cada ensayo de menor a mayor. Siendo la fórmula matemática la recogida en la Ecuación 9-1.

$$\sum_{i=1}^{15} \frac{\text{peso}(i)}{\text{nivel}(j)}$$

Ecuación 9-1

donde,

i es el ensayo a considerar

$\text{peso}(i)$ es un valor dependiente de la importancia relativa del ensayo i

nivel(j) es el nivel tensional relativo de la estructura j en los resultados del ensayo i

masa y ensayos	Pesos
1	6
2	12
2b	12
3	18
3b	18
4	18
4b	18
5	18
6	12
6b	18
7	18
8	18
9	6
9b	6
masa	12

Tabla 9.174. *Ensayos clasificados por su importancia junto a su peso ponderado.*

La elección como pesos de los valores (18, 12 y 6) se debe a que al dividir dichos pesos por la posición el resultado final si hubiesen sido (3, 2 y 1) resultaría en fracciones con denominador 2 ó 3, por lo que al ser 6 el denominador común de dichas fracciones se decidió multiplicar los pesos por este valor para trabajar con valores enteros.

Aplicando la Ecuación 9-1 se obtiene que la estructura 1 alcanza una puntuación de 149 puntos, la estructura 2 de 135 y la estructura 3 de 101 puntos, por tanto la estructura 1 es la más adecuada para el prototipo. En el anexo VIII se recogen los planos de la estructura definitiva del prototipo.



10. Conclusiones

El objetivo de este proyecto ha sido la realización del diseño de la estructura de un prototipo destinado a participar en la competición Shell Eco-marathon Europe. Para ello se han analizado todos los elementos que influyen en el diseño de dicha estructura.

Determinándose la postura más adecuada del piloto y el espacio ocupado por este a fin de realizar un diseño confortable y seguro para el piloto. También se tuvo muy en cuenta la situación de otros elementos que se sujetarían a la estructura del prototipo como el carenado, los cinturones, el asiento y el extintor. Por último, se tuvo especial cuidado en evitar todas las interacciones entre la estructura y los elementos dispuestos sobre el sub-bastidor trasero, las interacciones del sub-bastidor trasero con la estructura, así como las condiciones de montaje y desmontaje de la unión de ambos bastidores.

Por parte del diseño de la estructura se ha investigado tanto materiales como métodos de unión para concluir que el material más adecuado en base a los objetivos del proyecto es la aleación de aluminio seleccionada y la forma de unión más adecuada es el uso de adhesivos estructurales.

Con respecto al proceso de fabricación de la estructura se ha considerado el mecanizado de los extremos de las barras y el doblado de las mismas para reducir el número total de barras de la estructura, a fin de facilitar la fabricación, el montaje y el comportamiento mecánico de la estructura.

El mallado empleado en el modelo de elementos finitos es el único mallado que se puede realizar con los elementos finitos empleados para la construcción del modelo, por tanto se considera que es necesario realizar un modelado más detallado para eliminar las posibles influencias del mallado en los datos, pero dicho modelo excede los límites del presente proyecto debido a la extensión del mismo.

Por tanto, se considera que la estructura definida en el presente proyecto es la más adecuada de todas las estructuras propuestas en base a los condicionantes recogidos del resto de áreas de diseño del equipo. Siendo necesaria la verificación de la compatibilidad de todos los nuevos elementos que sea necesario disponer en el interior del prototipo y que por distintas razones no se han considerado en el presente proyecto.

11. Desarrollos futuros

Durante la realización del diseño de la estructura del prototipo han ido apareciendo líneas de trabajo que por su complejidad, por no desviarse del diseño de la estructura o por su extensión no se han tratado. De todas estas líneas de investigación se considera conveniente realizar en un futuro las siguientes:

- Realización de un modelo con elementos 3d de la estructura y simulación de los ensayos definidos en el presente proyecto para ratificar la validez de los resultados obtenidos.
- Repetición de los ensayos de este proyecto empleando otros tipos de elementos como los “pipe” o los elementos placa a fin de verificar la dependencia de los resultados del elemento finito seleccionado.
- Diseño del asiento del prototipo para la estructura definida en este proyecto, en base al prediseño empleado en el presente proyecto.
- Diseño de una carrocería autoportante del prototipo en base a los ensayos y resultados obtenidos en este proyecto junto con el proyecto que define el carenado del prototipo.



12. Bibliografía

- [1] AlpineBT. RENAULT ALPINE A110 CHASIS Y PIEZAS. *Mercado Racing*. Disponible en la Web: <http://www.mercadoracing.org/38/246630/renault-alpine-a110-chasis-y-piezas.html> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [2] Alu-Stock. CAPITULO 11. ALEACIONES DE ALUMINIO. *Alu-Stock*. 2013. Disponible en la Web: <http://www.alu-stock.es/catalogo/pdf/libro/Alu-Stock-LA4-11-Aleaciones.pdf> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [3] Analogue Kid. SMART CAR STRUCTURE.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Smart_Car_Structure.JPG [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [4] ANSYS. Ayuda del programa ANSYS 10.0.
- [5] Aparicio Reyes, Eduardo. Tutores: Dr. D. Vicente Díaz López y Dra. D.ª Beatriz López Boada. ESTUDIO Y DISEÑO DEL PROTOTIPO DESTINADO A PARTICIPAR EN LA COMPETICIÓN SHELL ECO-MARATHON. ANTEPROYECTO FIN DE MASTER. MASTER EN INGENIERÍA DE MÁQUINAS Y TRANSPORTES. *Universidad Carlos III de Madrid*.
- [6] Área de Ingeniería Mecánica. APUNTES DEL BLOQUE DE ELEMENTOS FINITOS DE LA ASIGNATURA CÁLCULO DE MÁQUINAS. CURSO 2009-2010. 5º INGENIERÍA INDUSTRIAL. *Universidad Carlos III de Madrid*. 2009.
- [7] Área de Ingeniería Mecánica. APUNTES DE LA ASIGNATURA TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN I. CURSO 2008-2009. 4º INGENIERÍA INDUSTRIAL. *Universidad Carlos III de Madrid*. 2009.
- [8] Área de Ingeniería Mecánica. TRANSPARENCIAS DEL TEMA UNIONES MECÁNICAS DE LA ASIGNATURA LABORATORIO DE TECNOLOGÍAS IV. Ingeniería Técnica Industrial Mecánica. *Universidad Carlos III de Madrid*. 2011. Obtenido del open course ware de la Universidad Carlos III de Madrid. Disponible en la Web: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/laboratorio-de-tecnologias-iv/material-didactico/uniones.pdf/view> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [9] Arias Paz, Manuel. MANUAL DE AUTOMÓVILES. *Editorial Dossat s.a.* 9ª edición (1947) y 50 edición (1990).
- [10] Askeland, Donald R. CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES. *Editorial Paraninfo*. 2001.
- [11] Autodesk. SEAN COLEMAN, NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY. Disponible en la Web: <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/item?siteID=123112&id=17359721> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [12] Bennasar, Oscar. ALGUNAS COSAS QUE HACEN DIFERENTE A UN VOLKSWAGEN BEETLE. Disponible en la Web: <http://restaurandomivw.blogspot.com.es/2012/06/algunas-cosas-que-hacen-diferente-un.html> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [13] Blanco Esteban, Pablo. Director proyecto fin de carrera: Dr. D. Vicente Díaz López. Tutora del proyecto fin de carrera: Dra. D.ª Beatriz López Boada. ESTUDIO Y DISEÑO DEL BASTIDOR DELANTERO DEL PROTOTIPO DESTINADO A PARTICIPAR EN LA COMPETICIÓN SHELL ECO-MARATHON. *Universidad Carlos III de Madrid*. 2010.
- [14] CalSMV. SHELL ECO-MARATHON AMERICAS 2007 COMPETITION. UC Berkeley. Disponible en la Web: <http://smv.berkeley.edu/2007/2007shell.html> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [15] CalSMV. SHELL ECO-MARATHON AMERICAS 2010 COMPETITION. UC Berkeley. Disponible en la Web: <http://smv.berkeley.edu/2010/2010competition1.html> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [16] Carmona Benjumea, Antonio. ASPECTOS ANTROPOMÉTRICOS DE LA POBLACIÓN LABORAL ESPAÑOLA APLICADOS AL DISEÑO INDUSTRIAL. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)*. 2003.
- [17] Casco Hernández, Adrián. Director proyecto fin de carrera: Dr. D. Vicente Díaz López. ESTUDIO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN DEL PROTOTIPO DESTINADO A PARTICIPAR EN LA COMPETICIÓN ECO-MARATHON SHELL. *Universidad Carlos III de Madrid*. 2008.
- [18] CeDe. TEMA 8: CARROCERÍAS Y BASTIDORES: TIPOS, CARACTERÍSTICAS, PROCESOS DE FABRICACIÓN, ELEMENTOS QUE LOS COMPONEN Y MÉTODOS DE ENSAMBLADO Y UNIÓN DE

- ÉSTOS. *Centro Documentación de Estudios y Oposiciones*. Disponible en la Web: http://www.serina.es/empresas/cede_muestra/304/TEMA_MUESTRA.pdf [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [19] Centro-Zaragoza. EL SHELL ECO-MARATHON SE CELEBRARÁ BAJO EL PATROCINIO DE LA COMISIÓN EUROPEA. N° 19 (Enero-Marzo 2004). Disponible en la Web: http://www.centro-zaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos/R19_A15.pdf [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [20] Chang, Raymond. QUÍMICA. *Editorial McGraw-Hill Interamericana*. 2007.
- [21] Cierrex. POSIZIONI-DI-SALDADURA.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Posizioni-di-saldatura.jpg> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [22] CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN, DOCUMENTO BÁSICO SEGURIDAD ESTRUCTURAL ACERO (RD 1371/2007). Disponible en la Web: http://www.fomento.gob.es/mfom/lang_castellano/direcciones_generales/arq_vivienda/_informacion/normativa/codigoedificacion.htm [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [23] Cofan. REMACHES ALUMINIO ESTANDAR NEGROS DETALLE (1).JPG. Disponible en la Web: [http://www.content.cofan.es/images/productos/500x331/remaches-aluminio-estandar-negros-detalle-\(1\).jpg](http://www.content.cofan.es/images/productos/500x331/remaches-aluminio-estandar-negros-detalle-(1).jpg) [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [24] Departamento de Ciencia y Tecnología de Materiales. APUNTES DE LA ASIGNATURA MATERIALES I. CURSO 2005-2006. 2º INGENIERÍA INDUSTRIAL. *Universidad Carlos III de Madrid*. 2005.
- [25] Departamento de Ciencia y Tecnología de Materiales. APUNTES DE LA ASIGNATURA MATERIALES II. CURSO 2005-2006. 2º INGENIERÍA INDUSTRIAL. *Universidad Carlos III de Madrid*. 2006.
- [26] Departamento de Ciencia y Tecnología de Materiales. APUNTES DE LA PARTE IMPARTIDA POR ESTE DEPARTAMENTO DE LA ASIGNATURA TECNOLOGÍA DE MATERIALES. CURSO 2008-2009. 4º INGENIERÍA INDUSTRIAL. *Universidad Carlos III de Madrid*. 2008.
- [27] Departamento de Ciencia y Tecnología de Materiales. Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras. PRÁCTICAS DE LA ASIGNATURA TECNOLOGÍA DE MATERIALES. CURSO 2008-2009. 4º INGENIERÍA INDUSTRIAL. *Universidad Carlos III de Madrid*. 2008.
- [28] Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras. APUNTES DE LA PARTE IMPARTIDA POR ESTE DEPARTAMENTO DE LA ASIGNATURA TECNOLOGÍA DE MATERIALES. CURSO 2008-2009. 4º INGENIERÍA INDUSTRIAL. *Universidad Carlos III de Madrid*. 2008.
- [29] Directindustry. MAQUINAS DE SOLDADURA LASER 23347 364402. Disponible en la Web: <http://www.directindustry.es/prod/miyachi/maquinas-de-soldadura-laser-23347-364402.html> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [30] Dufour García, Ignacio J. Tutor: Dr. D. Vicente Díaz López. TRABAJO DIRIGIDO: CARACTERIZACIÓN DEL PILOTO Y DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS TRANSMITIDAS POR EL ASIENTO A LA ESTRUCTURA DE UN PROTOTIPO DESTINADO A PARTICIPAR EN LA SHELL ECO-MARATHON EUROPE. *Universidad Carlos III de Madrid*. 2013.
- [31] Dumontierc. WELDED JOINT.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Welded_joint.JPG [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [32] Ertl, Ondrej. T-11.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:T-11.JPG> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [33] EuroSpeedway Lausitz. SHELL ECO-MARATHON. 2010. <http://www.lausitzring.de/besucherportal/news/detailansicht/article/shell-eco-marathon.html> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [34] Facultad de Ingeniería, Cátedra: Vehículos Automotores. BASTIDORES. *Universidad Nacional de Mar del Plata*. Disponible en la Web: <http://pato2.fi.mdp.edu.ar/maq-term1/maq3/Bastidores.pdf> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [35] Fernández-Pintado Aldonza, Gonzalo. Tutores: Dr. D. Daniel García-Pozuelo Ramos, Dra. D.ª Beatriz López Boada. DISEÑO AERODINÁMICO DEL CARENADO PARA EL PROTOTIPO DESTINADO A LA COMPETICIÓN SHELL ECO-MARATHON. *Universidad Carlos III de Madrid*. 2012.
- [36] Ferrer Giménez, Carlos. Amigó Borrás, Vicente. TECNOLOGÍA DE MATERIALES. *Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia*. 2003.

- [37] Fuentes del Toro, Sergio. Tutora: Dra. D. ^a Ester Olmeda Santamaría. DISEÑO Y CÁLCULO DEL BASTIDOR TRASERO Y SISTEMA DE DIRECCIÓN DEL PROTOTIPO DESTINADO A PARTICIPAR EN LA COMPETICIÓN SHELL ECO-MARATHON. *Universidad Carlos III de Madrid*. 2011.
- [38] Font Mezquita, José; Dols Ruiz, Juan F. TRATADO SOBRE AUTOMÓVILES TOMO I (TECNOLOGÍA DEL AUTOMÓVIL). *Editorial Universidad Politécnica de Valencia*. 2004.
- [39] García García, Irene. Tutores: Dra. María Augusta Neto, Dr. José María Cirne. ANÁLISIS NUMÉRICO DEL COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DE UN ECO-VEHÍCULO. *Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra*. 2011.
- [40] Garzón Tovar, Jerónimo. MECÁNICA DEL AUTOMÓVIL PARTE I: CHASSIS VEHÍCULOS. *El automóvil al desnudo*. Disponible en la Web: <http://jeroitim.blogspot.com.es/2012/05/v-behaviorurldefaultvmlo.html> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [41] Georgewilliamherbert. GLARE-HONEYCOMB.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Glare_honeycomb.jpg [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [42] Giachino, Joseph W. Weeks, William. TÉCNICA Y PRÁCTICA DE LA SOLDADURA. *Editorial Reverte*. 1994.
- [43] González, Armando. APUNTES DE LA ASIGNATURA: INTRODUCCIÓN A LA ANTROPOLOGÍA FÍSICA: LAS POBLACIONES DEL PASADO. MÓDULO II: ANATOMÍA DEL ESQUELETO HUMANO. TEMA 2: CINTURAS Y ESQUELETO APENDICULAR. *Universidad Autónoma de Madrid*. 2007.
- [44] Hmaag. JAGUAR C-TYPE FRAME.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jaguar_C-Type_Frame.JPG [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [45] Honda. MOTOR GX25. *Honda*. Disponible en la Web: <http://engines.honda.com/models/model-detail/gx25> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [46] Iberext. A-CATALOGO ARTICULOS EXTINTORES IBEREXT-ELITEX. *Iberext*. Disponible en la Web: <http://www.iberext.com/Archivos/Catalogo/A-CATALOGO ARTICULOS EXTINTORES IBEREXT-ELITEX.pdf> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [47] IFCAR. SMART FOR TWO PURE. *Wikimedia*. Disponible en la Web: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Smart_ForTwo_Pure.jpg [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [48] Iliffe & Sons y Dingley, Andy. CITROEN TRACTION AVANT BODY-CHASSIS UNIT (AUTOCAR HANDBOOK, 13TH ED, 1935).JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Citroen_Traction_Avant_body-chassis_unit_\(Autocar_Handbook,_13th_ed,_1935\).jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Citroen_Traction_Avant_body-chassis_unit_(Autocar_Handbook,_13th_ed,_1935).jpg) [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [49] Jaguar. JAGUAR XK120C.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jaguar_xk120c.JPG [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [50] Jemaco. BLINDNIETEN.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blindnieten.JPG> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [51] KapitanT. CHASSIST11.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ChassisT11.JPG> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [52] Loctite. LOCITTE WORLDWIDE DESIGN HANDBOOK. *Loctite European Group*. 1998.
- [53] Karrmann. ALPINE A110.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alpine_A110.jpg [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [54] Loctite. HOJA DE DATOS TÉCNICOS LOCITTE 3426. *Henkel*. 2012. Disponible en la Web: <http://tds.loctite.com/tds5/docs/3423-ES.PDF> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [55] Loctite. TECHNICAL DATA SHEET HYSOL 9514. *Henkel*. 2003. Disponible en la Web: http://www.akd-tools.gr/xmsAssets/File/TDS/LOCITTE/loctite_9514.PDF [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [56] Lueger, Otto. LEXIKON DER GESAMTEN TECHNIK. 1904. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:L-Nietverbindung2.png> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [57] Marca. http://www.marca.com/marca_motor/reportajes/shell_eco-marathon/shell_eco-marathon.html [Consultada por última vez el 13/08/13].



- [58] Marcelchal. SMAW AREA DIAGRAM.SVG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:SMAW_area_diagram.svg [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [59] MartinHansV. MHV LANCIA LAMBDA 1923 01.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:MHV_Lancia_Lambda_1923_01.jpg [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [60] Motor Historia. LANCIA LAMBDA "UN REVOLUCIONARIO ITALIANO". *Motor Historia*. Disponible en la Web: <http://motorhistoria.blogspot.com.es/2011/01/lancia-lambda.html> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [61] Navarro Ugena, Carlos. APUNTES DE ELASTICIDAD Y RESISTENCIA DE MATERIALES II. *Universidad Carlos III de Madrid*.
- [62] Norton, Robert L. DISEÑO DE MÁQUINAS. *Editorial pearson educación*. 1999.
- [63] Numpty3554. LAND ROVER AND NEW CHASSIS.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Land_Rover_and_new_chassis.jpg [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [64] Puértolas Ráfaeles, José Antonio. Ríos Jordana, Ricardo. Castro Corella, Miguel. Casals Bustos, José Manuel. TECNOLOGÍA DE MATERIALES. *Editorial Síntesis*. 2009.
- [65] Raysper, Yuri. BOLTED JOINT.SVG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bolted_joint.svg [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [66] Raysper, Yuri. BOLTED JOINT 1.SVG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bolted_joint_1.svg [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [67] Raysper, Yuri. BOLTED JOINT 2.SVG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bolted_joint_2.svg [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [68] Remmi-Team. <http://remmi-team.com/content/history/> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [69] Ringgauspeed. FLACHGEWINDE.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flachgewinde.jpg> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [70] Ringgauspeed. RUNDGEWINDE.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rundgewinde.jpg> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [71] Ringgauspeed. SAEGENGEWINDEPROFIL.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Saegengewindeprofil.jpg> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [72] Ringgauspeed. SPITZGEWINDE.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spitzgewinde.jpg> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [73] Ringgauspeed. STAHLPANZERROHRGEWINDE.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stahlpanzerrohrgewinde.jpg> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [74] Ringgauspeed. TRAPEZGEWINDE 2.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trapezgewinde_2.jpg [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [75] Ringgauspeed. WHITWORTH-GEWINDE.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Whitworth-Gewinde.jpg> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [76] Sapa. PERFILES NORMALIZADOS. *Sapagroup*. 2013. Disponible en la Web: http://www.sapagroup.com/upload/Sapa_Profiles_Iberia/PDF/CATALOGOS_LIBRE_D/SAPA-IBERIA.pdf [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [77] Seller Robles, Antonio. Tutora: Dra. D. ^a Beatriz López Boada. DISEÑO Y CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DE UN PROTOTIPO DESTINADO A PARTICIPAR EN LA COMPETICIÓN SHELL ECO-MARATHON. *Universidad Carlos III de Madrid*. 2011.
- [78] Sheetz, Nathaniel C. GMAW WELD AREA.PNG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:GMAW_weld_area.png [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [79] Shell. PLUS ECONOMIE... PLUS REALISTE... PLUS CITADIN... DES EVOLUTIONS MARQUANTES POUR ESPRITS INVENTIFS. Febrero 2003. http://marcquauto.free.fr/communique_2003_fevrier.pdf [Consultada por última vez el 13/08/13].



- [80] Shell Eco-marathon. <http://www.shell.com/global/environment-society/ecomarathon.html> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [81] Shell Eco-marathon (Historia). <http://www.shell.com/global/environment-society/ecomarathon/about/history.html> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [82] Shell Eco-marathon Europa 2012. <http://www.shell.es/aboutshell/media-centre/news-and-media-releases/2012/ecomarathon-europe-2012.html> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [83] Shell Eco-marathon Europa 2013. <http://www.shell.es/aboutshell/media-centre/news-and-media-releases/2013/shell-ecomarathon-2013.html> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [84] Shell Eco-marathon Europe. <http://www.shell.com/global/environment-society/ecomarathon/events/europe.html> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [85] Shell Eco-marathon Europe. Fotos competición 2012. http://www.flickr.com/photos/shell_ecomarathon/collections/72157629752736936/ [Consultada por última vez el 12/05/13].
- [86] Shell Eco-marathon Europe. Resultados 2013 Prototipo Diesel. <http://s08.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/europe/final-results-sem-europe-2013-prototype-diesel.pdf> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [87] Shell Eco-marathon Europe. Resultados 2013 Prototipo Eléctrico. <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/europe/final-results-sem-europe-2013-prototype-battery-electric.pdf> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [88] Shell Eco-marathon Europe. Resultados 2013 Prototipo Gasolina. <http://s00.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/europe/final-results-sem-europe-2013-prototype-gasoline.pdf> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [89] Shell Eco-marathon Europe. Resultados 2013 Prototipo Hidrogeno. <http://s05.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/europe/final-results-sem-europe-2013-prototype-hydrogen.pdf> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [90] Shell Eco-marathon Europe. Resultados 2013 Prototipo Sustituto Diesel. <http://s00.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/europe/final-results-sem-europe-2013-prototype-alt-diesel.pdf> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [91] Shell Eco-marathon Europe. Resultados 2013 Prototipo Sustituto Gasolina. <http://s06.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/europe/final-results-sem-europe-2013-prototype-ethanol.pdf> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [92] Shell Eco-marathon Europe. Resultados 2013 Urban Concept Diesel. <http://s02.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/europe/final-results-sem-europe-2013-uc-diesel.pdf> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [93] Shell Eco-marathon Europe. Resultados 2013 Urban Concept Eléctrico con baterías. <http://s06.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/europe/final-results-sem-europe-2013-uc-battery-electric.pdf> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [94] Shell Eco-marathon Europe. Resultados 2013 Urban Concept Gasolina. <http://s05.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/europe/final-results-sem-europe-2013-uc-gasoline.pdf> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [95] Shell Eco-marathon Europe. Resultados 2013 Urban Concept Hidrogeno. <http://s00.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/europe/final-results-sem-europe-2013-uc-hydrogen.pdf> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [96] Shell Eco-marathon Europe. Resultados 2013 Urban Concept Sustituto Gasolina. <http://s05.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/europe/final-results-sem-europe-2013-uc-ethanol.pdf> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [97] Shell Eco-marathon. Normativa 2013. <http://s07.static-shell.com/content/dam/shell/static/ecomarathon/downloads/pdf/sem-rules-chapter012013.pdf> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [98] Shell Fiat. <http://www.59fiattestcar.com/> [Consultada por última vez el 13/08/13].

- [99] Shell World Philippines. 2010 SHELL ECO-MARATHON IN ASIA. Issue 2 2010. <http://s08.static-shell.com/content/dam/shell/static/phl/downloads/news-and-library/shell-world/swp-issue-02-2010.pdf> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [100] Shigley, Joseph Edward. Mischke, Charles R. DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA. *Editorial McGraw-Hill*. Quinta edición. 1990.
- [101] Sienicki, Tomasz. BOLT SCREW UBT 199.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:BOLT SCREW UBT 199.JPG> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [102] Snoopy1974. CHASSISROULANT.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chassisroulant.JPG> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [103] Stedehouder, Hans. LAND ROVER 109 LWB 1980.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Land Rover 109 lwb 1980.jpg> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [104] StSasha. TIP SH.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Típ sh.JPG> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [105] Sureda Gormáz, Fernando. Tutores: Dr. D. Daniel García-Pozuelo Ramos, Dra. D.ª Beatriz López Boada. DISEÑO DEL EMBRAGUE Y LA TRANSMISIÓN DEL PROTOTIPO DESTINADO A LA COMPETICIÓN SHELL ECO-MARATHON. *Universidad Carlos III de Madrid*. 2013.
- [106] Terra. <http://www.terra.org/categorias/comunidad-ecotransporte/la-eco-marathon-una-carrera-para-vehiculos-que-ahorran> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [107] Tomia. RIVET.SVG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rivet.svg> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [108] TLightningRod. TIG TORCH-ACCS.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:TIG torch-accs.jpg> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [109] TLightningRod. TIG TORCH BREAKDOWN.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:TIG torch breakdown.JPG> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [110] UNE-EN ISO 7250-1/2010. DEFINICIONES DE LAS MEDIDAS BÁSICAS DEL CUERPO HUMANO PARA EL DISEÑO TECNOLÓGICO. PARTE 1: DEFINICIONES DE LAS MEDIDAS DEL CUERPO Y REFERENCIAS.
- [111] Victor456. ROBLONES.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roblones.jpg> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [112] Wizard191. SUBMERGED ARC WELDING SCHEMATIC.SVG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Submerged arc welding schematic.svg> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [113] XcepticZP. PIPE ROOT WELD WITH HAZ.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pipe root weld with HAZ.jpg> [Consultada por última vez el 13/08/13].
- [114] Zabala Urbieto, Javier. Tutor: Dr. D. Daniel García-Pozuelo Ramos. DISEÑO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN Y MANDO DESTINADO A LA COMPETICIÓN SHELL ECO MARATHON. *Universidad Carlos III de Madrid*. 2013.
- [115] Zobač. ELECTRON BEAM WELDER.JPG. *Wikimedia*. Disponible en la Web: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electron beam welder.jpg> [Consultada por última vez el 13/08/13].

Anexos

Anexo I: Normativa Shell Eco-marathon Europe 2013

A continuación se transcribe el capítulo I de la normativa 2013 de la competición [97].

Shell Eco-marathon® Official Rules 2013 CHAPTER I

1- ORGANISATION

Article 1: Acceptance

- a) The entry forms must be sent completed, with all necessary documents, to the Organisers who will accept Teams based on the quality of the proposed entry packet. All decisions by the Organisers regarding the acceptance of Teams are final.
- b) By fact of their entry, participants accept all the provisions of the present Official Rules and agree to abide by all decisions made by the Shell Eco-marathon Organisers. The Organisers reserve the right to modify, delete or add any article of the present Official Rules. In such an event, the Teams will be notified. The Organisers are solely empowered to pronounce on cases not provided for in the present Official Rules.
- c) The Organisers reserve the right to modify, delay or even cancel the competition in the event of unforeseen circumstances, notably rain, high winds or excessive heat. No claims for compensation will be accepted.
- d) By entering the Shell Eco-marathon, all participants recognise the right of the Organisers, Shell, and more generally the companies of the Shell Group to use their images for publicity or other promotional material.

Article 2: Entries

- a) For each entry, a Team Manager, a Driver and a Reserve Driver must be designated.
- b) The Team Manager can only be responsible for one vehicle. He/she may also be a Driver for that vehicle, but only for that vehicle.
- c) The Team Manager is the Team's sole official liaison with the Organisers. All information will be addressed to him/her. For the purposes of the project, he/she will be responsible for the Team, must speak on behalf of the Team and must be able to understand and speak English.
- d) The eligibility criteria for Drivers are detailed in the relevant section of Chapter II. The Driver for one vehicle cannot be the Driver or Reserve Driver for another vehicle.
- e) A Reserve Driver may be assigned to two vehicles. However, once he/she has driven one of those vehicles (during practice or in competition), he/she may no longer drive the other vehicle.
- f) Each interested Team must apply to compete in the regional Shell Eco-marathon event closest to their home country. The attendance at another Shell Eco-marathon event outside its home region is subject to decision of the relevant regional organising committee.

Article 3: Track Access Conditions

During both the practice runs and the competition, all vehicles must comply with the technical and safety rules of the event. Whenever the track is entered, the vehicle body must be in place and bear all the competition numbers, partner streamers and Shell logos required by the Official Rules. Organisers will supply these numbers and logos upon entry confirmation.

Article 4: Identification

- a) Logos, official partner streamers and racing numbers must be fixed to the vehicle body in accordance with the diagram provided (see Chapter II) such that they can be clearly read during any public presentation, in promotional films and on all photographs for team use, school use, press or promotional material.
- b) Under no circumstances may the Shell logos, the partner streamers or racing numbers be modified, either on the vehicle or on any other documentation. It is prohibited to cut the stickers supplied by the Organisers. Their dimensions are as follow:
 - i) For each side and for the front of the vehicle: a Shell logo, 20 x 20 cm.
 - ii) For each side and for the front of the vehicle: racing numbers, 20 x 26 cm.

- iii) For each side, on the lower part of the body: a partner streamer, 90 x 6 cm.
- c) A mandatory 10 cm space must be left free on all four sides of the Shell logo
- d) Any other sponsor names / logos must be smaller than the Shell logo. The sponsor stickers must fit within a surface of 400 cm² (empty space included)
- e) In the event of a breach of this rule, the Organisers reserve the right to remove any sponsor logos.
- f) Furthermore, the trademarks or logos of other energy companies, direct competitors of event partners, tobacco companies and alcoholic drinks producers are prohibited.
- g) All vehicles are subject to the Organisers' approval concerning these provisions.

Article 5: Compliance

- a) Only those vehicles that comply with the present Official Rules are allowed to participate. No vehicle will be allowed on the track for practice or competition until the Organisers have approved it. The decisions of the Organisers are final in all matters concerning the compliance of vehicle design and construction with the present Official Rules.
- b) **The Organisers reserve the right to rescind vehicle approval upon further or more detailed checks.** The Organisers must be notified of any modifications to the vehicle after inspection. Non-compliance with this rule will lead to vehicle disqualification.
- c) Vehicles complying with all safety rules but not with some of the other technical rules will not qualify for the competition, however may be allowed on the track for practice or demonstration.

Article 6: Protests

The Team Manager is the only person authorised to lodge protests. Protests must be brought to the attention of the Technical Manager via the results desk. Depending on the nature protests must be lodged within the following times:

- a) Vehicles: before track closure on the current day
- b) Team and Driver behaviour: within 30 minutes following the end of the attempt.
- c) Results: within 1 hour after the result of an attempt has been posted.

Article 7: Disputes

In the event of any disputes, all decisions made by the Race Director are binding and final.

Article 8: Penalties

- a) Non-compliance with the driving rules will result in a formal warning, invalidation of the best overall attempt or disqualification of the Team, depending on the severity of the breach.
- b) The Organisers will exclude, disqualify or otherwise penalise any competitor who, in the judgement of the Race Director, has gained an unfair advantage as a result of any breach of these Official Rules, hindrance of other participants, departure from the normal course, or any act or omission capable of misrepresenting performance, especially with regard to fuel consumption or method of propulsion.
- c) During the competition, the Driver or the Team Manager must report to the Organisers any movement made or attempted by means other than the vehicle's own motive power. In such an event, the attempt in question will not be taken into account. If this type of incident is not reported, all the Team's attempts will be invalidated.
- d) The Organisers will apply the following penalties:
 - 1st infraction: Formal warning
 - 2nd infraction: Best overall attempt invalidated at the end of the competition
 - 3rd infraction: Immediate Team disqualification.

2- SAFETY

Article 9: Safety Rules

- a) As with any Motorsport activity there should be an understanding that certain inherent risks will be present. Recognising and controlling these risks are vital for the well being of people and local surroundings. Safety is an essential consideration for the event Organisers. These Rules are to protect all individuals and surrounding areas and are in no way intended to curtail the spirit of the competition. Any activity deemed unsafe or outside of the spirit of the event will be met with appropriate action by the event Organisers.
- b) Therefore, compliance with safe driving and sporting rules, as well as any instructions given by Track Marshals is mandatory for everyone. All Team members must comply with the safety measures and must notify Organisers about any anomalies or incidents. In the event that dangerous conditions are present leave the area immediately. During the event the paddock area will be monitored by the Organisers to assist Teams to comply with safe practices.

- c) The Race Director is responsible for and has the final authority in determining the safe conditions for track operations in regards to weather.
- d) Non-compliance with any of the Official Rules may lead to disqualification from the competition at the sole and absolute discretion of the Organisers.

Driving Rules

Article 10: Driving Knowledge and Test

- a) Only the registered Driver and the Reserve Driver will be authorised to drive the vehicle.
- b) During vehicle inspection, Drivers may be questioned to test their knowledge of the driving regulations. The Organisers reserve the right to deny track access to a driver with insufficient knowledge of the Official Rules.
- c) Driving on-track: In the interest of safety it is important that Drivers learn and apply smooth and predictable driving techniques, e.g. thinking well ahead, avoiding sudden directional changes, and being fully aware of other competitors around them.

Article 11: Driving under the Influence of Alcohol / Illegal Substances

- a) Driving under the influence of any alcohol and/or illegal substance(s) is forbidden. This applies to all Drivers and Reserve Drivers entering the track.
- b) Procedures for alcohol or substance testing are detailed in Chapter II.
- c) Any breach will be penalized in line with Article 8: and the following additional penalties:
 - i) Any alcohol and / or substance related breach of the rules will be treated at least as '2nd infraction' of the Team, even if no prior violation has occurred.
 - ii) In addition, the affected Driver is immediately banned from access to the track as long as he/she is under the Influence. The Reserve Driver may substitute the Driver if he/she is eligible to drive.
 - iii) Any second alcohol and / or substance related infraction will lead to the immediate disqualification of the entire Team.

Article 12: Briefing

The attendance of any briefing sessions by the Organiser is mandatory for Team Managers and Drivers. Please refer to Chapter II for further details on these briefings. Scheduled briefings will be posted at the track.

Article 13: Access to the Track and Test Lap

- a) Vehicles must pass a safety inspection prior to accessing the track for practice runs. A safety sticker will be clearly affixed once the vehicle has passed the inspection.
- b) For practice runs, only vehicles with a safety sticker will be allowed on the track.
- c) For the competition, only vehicles with safety and technical inspection stickers will be allowed to compete.
- d) The Organisers will allow opportunity for Team Managers and Drivers to inspect the track, i.e. before any vehicles are allowed on the track. For further details please refer to Chapter II.
- e) After pre-start measurements have been completed, teams must be ready to start their attempt within two minutes or return to the paddock.

Article 14: Pushing the Vehicle

At no time on the race track, drivers are allowed to push their vehicle or have it pushed, including to start the run or to cross the finish line

Article 15: Competition Direction

It is forbidden to drive in reverse gear or to drive against the race direction.

Article 16: Radio Communication

The use of hand-held communications is forbidden in the vehicle. However, the use of a "hands-free" kit is allowed as long as both hands of the driver remain on the steering system.

Article 17: Overtaking

Drivers are required to give clear passage for other competitors wishing to overtake.

- a) The Driver in the overtaking vehicle must sound their horn and pass with caution. Attention: The Driver of the overtaking vehicle is responsible for the safety of the manoeuvre.
- b) The Driver of the vehicle being overtaken will use his/her rear – and side-view mirrors and must not change course suddenly.

c) On the track, overtaking is authorised on both the right and the left, as long as the above-mentioned safety rules are followed

Article 18: Breakdowns and Other Incidents

- a) Intentional stopping on the track is forbidden unless it is required by the competition, e.g. for Urban Concept vehicles.
- b) The Driver is allowed 30 seconds to attempt to re-start the vehicle from within its driving position.
- c) If a vehicle breaks down or is involved in a minor disabling accident on the track, the Driver must immediately make every attempt to drive the vehicle to the side of the track and wait in the vehicle for the Marshalls to arrive.
- d) In an emergency, the Driver must get out of the car and wait in a safe place off the track for the Track Marshalls to arrive and recover him/her and the vehicle.
- e) It is forbidden to carry out repairs on the track. In the event of a flat tyre, even when near the starting line, a new start will not be granted for the attempt in question.

Article 19: Off-track vehicle movements

- a) All vehicles must be parked inside the designated paddock area or directly in front of it. When off the track, vehicles must be moved without the use of the engine. They must be pushed or pulled. Test-driving in the paddock area is forbidden.
- b) Race Marshalls will notify the Race Director of any breaches and any unsafe or unfair behaviour.**

Driver & Equipment

Article 20: Driver Weight

- a) Drivers of Prototype vehicles must weigh at least 50 kg in full driving gear, including communication devices, prior to an attempt. Ballast must be fitted to the vehicle in the event the minimum weight requirement is not met. This ballast must be provided by the Team, and must be effectively tied down and secured to the vehicle to ensure no danger for the Driver in the event of collision or roll-over. It must be easily detachable for weighing.
- b) Drivers of Urban Concept vehicles must weigh at least 70 kg in full driving gear, including communication devices and luggage item, prior to an attempt. Ballast must be fitted in the luggage compartment of the vehicle in the event the minimum weight requirement is not met. This ballast must be provided by the Team, and must be effectively tied down and secured to the vehicle to ensure no danger for the Driver in the event of collision or roll-over. It must be easily detachable for weighing. (Refer to Article 46h))
- c) The Driver (in full driving gear, including communication devices) and the ballast may be weighed before or after each official attempt. A weight loss of up to 1 kg during an attempt will be tolerated.

Article 21: Helmets

- a) For practice and competition, Drivers must wear Motorcycle or Motorsport style helmets that comply with the safety standards specified in Chapter II of the Official Rules of each Shell Eco-marathon event (bicycle/riding/skating type helmets are not permitted). The helmet labels must be clearly readable. Helmets worn by both the Driver and Reserve Driver will be subject to inspection.
- b) Only full-face or three quarter helmets are permitted. Generally, the full-face and three quarter style helmets can be affixed with face shields which are highly recommended. If a face shield is not utilised, safety goggles are required. The helmets must correctly fit the Drivers; otherwise they will not be approved for the event.

Article 22: Driver Clothing

- a) All Drivers must wear a racing suit as the outermost layer of clothing (fire retardant highly recommended). Casual clothing and street wear are not permitted. Chapter II provides further guidelines regarding the racing suit specifications and availability. Wearing synthetic outer clothes or underwear is strictly forbidden for Drivers when seated in their vehicle.
- b) Gloves and shoes are required and must be provided by the team; bare feet or socks only are prohibited.

Article 23: Driver Comfort

Please note that in the event of hot weather conditions high temperatures could be attained inside the vehicle, potentially affecting Driver comfort and / or causing heat stress.

- a) It is recommended to properly ventilate the inside of the vehicle to provide cooling to the Driver.
- b) It is recommended to provide sufficient drinking liquids to the driver for the duration of an attempt. If fluid containers are provided to the driver(s), these containers must be hands free, e.g. camel-back style or bottles secured inside the driver's compartment with flexible feed straw.
- c) It is recommended to equip the vehicle with an effective sunscreen.
- d) The Organisers reserve the right to restrict individual driving time by any means at their sole discretion, e.g. shortening the distance, requesting driver change (pit stop), limit maximum number of attempts per driver per day, etc.

Team Safety Equipment

Article 24: Equipment and Materials

Teams are required to provide and use the following at the event:

- a) Gloves for general work: leather or canvas material.
- b) Gloves for fuel or motor oil handling: Chemical resistant.
- c) Safety glasses for all Team members. (Disposable types are permitted).
- d) Hearing protection for all Team members. (Approved Earplugs or muffs).
- e) Duct tape to secure any cords or cables lying on the pit floor.
- f) Lift stands or appropriate raised platform for vehicle tuning and repairs.
- g) Own tools and materials.
- h) Each Team must provide an extinguisher for their paddock area with a minimum extinguishing capacity of 1 kg in addition to the vehicle's extinguisher suitable for "ABC" class of fires. The extinguisher must be accessible in the Team's specific pit area in the garage. The extinguisher must be full, and have a certificate of validity bearing the manufacturer's number, the date of manufacture, and the expiry date.

Attention Review all sections of the Official Rules as they contain further safety matters specific to the topic.

3- VEHICLE DESIGN

3A - General

Article 25: Vehicle Design

- a) During vehicle design, construction and competition planning, participating Teams must pay particular attention to all aspects of safety, i.e. Driver safety, the safety of other Team members and spectator safety.
 - i) Prototype vehicles must have three or four running wheels, which under normal running conditions must be all in continuous contact with the road.
 - ii) Urban Concept vehicles must have exactly four wheels, which under normal running conditions must be all in continuous contact with the road. A fifth wheel for any purpose is forbidden.
- b) Aerodynamic appendages, which adjust or are prone to changing shape due to wind whilst the vehicle is in motion, are forbidden.
- c) Vehicle bodies must not be prone to changing shape due to wind and must not include any external appendages that might be dangerous to other Team members; e.g. pointed part of the vehicle body. Any sharp points must have a radius of 5 cm or greater, alternatively they should be made of foam or similar deformable material.
- d) The vehicle interior must not contain any objects that might injure the Driver during a collision.
- e) Windows must not be made of any material which may shatter into sharp shards. Recommended material: Polycarbonate (e.g. Lexan)
- f) Any cover of the energy compartment (engine / motor / transmission / battery, etc.) should be easy to open for quick inspection access.
- g) All parts of the drive train, including fuel tank, hydrogen system components, etc. must be within the confines of the body cover.
- h) All objects in the vehicle must be securely mounted, e.g. bungee cords or other elastic material are not permitted for securing heavy objects like batteries.

Article 26: Chassis / Monocoque Solidity

- a) Teams must ensure that the vehicle chassis or monocoque is solid.
A monocoque is a construction that supports structural load by using an object's external skin as opposed to using a frame.
- b) The vehicle chassis must be equipped with an effective roll bar that extends 5 cm around the driver's helmet when seated in normal driving position with the safety belts fastened.
- c) This roll bar must extend in width beyond the driver's shoulders when seated in normal driving position with the safety belts fastened.
It is permissible to either use a tubular or panel type roll bar. If a 'tubular roll bar' is used, it must be made of metal. A panel roll bar is the rigid partition separating the cockpit from the engine compartment. Such a panel roll bar must be an integral part of the vehicle chassis or integrated in a monocoque.
- d) Any roll bar must be capable of withstanding a static load of 700 N (~ 70 kg) applied in a vertical, horizontal or perpendicular direction, without deforming (i.e. in any direction).

- e) The vehicle chassis or monocoque must be wide and long enough to protect the driver's body in case of a frontal or lateral collision.

Article 27: Propulsion and Energy Storage System Isolation

- a) A permanent Bulkhead must completely separate the vehicle's propulsion and energy storage systems from the driver's compartment.
This means engines, fuel cells, fuel tanks, batteries (both propulsion and auxiliary), hydrogen cylinders, super capacitors, etc. must be placed outside the driver's compartment behind the bulk head. The purpose of this bulkhead is that in the event of a fuel leak or fire, it prevents liquids and / or flames and / or smoke reaching the driver. Therefore, it is necessary to pay particular attention to avoid any gaps and holes between the body and the bulk head. It is recommended to seal gaps with materials such as metal / aluminium sheeting or aluminium tape.
- b) This bulkhead must be of fire retardant material and construction.
- c) In closed-top Prototype vehicles and in all Urban Concept vehicles, the bulkhead must effectively seal the driver's compartment from the propulsion and fuel system.
- d) In open Prototype vehicles the bulkhead must extend at least 5 cm above the highest point of the propulsion and fuel system or the driver's shoulders – whichever is the highest.
- e) The bulkhead must prevent manual access to the engine / energy compartment by the driver.

Article 28: Visibility

- a) The Driver must have access to a direct arc of visibility ahead and to 90° on each side of the longitudinal axis of the vehicle. This field of vision must be achieved without aid of any optical (or electronic) devices such as mirrors, prisms, periscopes, etc. Movement of the Driver's head within the confines of the vehicle body to achieve a complete arc of vision is allowed.
- b) The vehicle must be equipped with a rear-view mirror on each side of the vehicle, each with a minimum surface area of 25 cm² (e.g. 5 cm x 5 cm). The visibility provided by these mirrors, and their proper attachment, will be subject to inspection. An electronic device must not replace a rear-view mirror.
- c) An Inspector will check visibility in each of the vehicles in order to assess on-track safety. This Inspector will check good visibility with 60 cm high blocks spread out every 30° in a half-circle, with a 4 m radius in front of the vehicle.
- d) For Urban Concept vehicles wet weather visibility is also mandatory (Article 52)

Article 29: Safety Belts

- a) The Driver's seat must be fitted with an effective safety harness having at least five mounting points to maintain the Driver in his/her seat.
- b) The mounting point(s) for the crotch strap(s) must be below the Driver's torso to prevent the Driver from slipping forward.
- c) The 5 independent belts must be firmly attached to the vehicle's main structure and be fitted into a single buckle, specifically designed for this purpose.
- d) The safety harness must be worn and fastened at all times when the vehicle is in motion.
- e) The fitness for purpose of the harness and its fitting will be evaluated during technical inspection. For Prototype cars this will be done by raising the vehicle with the Driver on board using the safety harness for suspension.
- f) The safety harness for prototype vehicles must withstand a force of at least 1.5 times the Driver's weight.
- g) The Urban Concept vehicle safety harness must be specifically manufactured for motorsport use. (e.g. certified or compliant with FIA standards)

Article 30: Vehicle Access

- a) It is imperative for Drivers, fully harnessed, to be able to vacate their vehicles at any time without assistance in less than 10 seconds.
- b) For Prototype vehicles with closed bodywork must be equipped with a sufficiently large opening for the cockpit. The driving position must be designed so that emergency services can easily extract the Driver from his/her vehicle, if necessary.
- c) For Prototype vehicles, the said opening may be enclosed wholly or partly by means of hinged, detachable and/or folding doors, provided that a release mechanism is easily operable from inside and that the method of opening from the outside is clearly marked by a red arrow and does not require any tools.
- d) For Urban Concept vehicles, the opening release mechanism must be easily and intuitively operable from the inside and the outside of the vehicle. The method of opening from the outside must be clearly marked by a red arrow and must not require any tools.
- e) It is forbidden to use adhesive tape to securely close the Driver's opening from the outside.



Article 31: Horn

- a) Each vehicle must be equipped with an electric horn mounted towards the front of the vehicle, in such a manner that is effectively audible to other vehicles and track marshals. With the vehicle in normal running condition, it must emit a sound greater than 85 dBA when measured 4 meters horizontally from the vehicle.
- b) The horn must have a high tone (pitch) of equal or greater than 420 Hz.
- c) The horn must have a noise capacity/volume greater than 110 decibels (dBA).

Article 32: On-board Fire Extinguisher

- a) Each vehicle must be fitted with a fire extinguisher (ABC or BC type). All Drivers must be trained in the use of said fire extinguisher. This extinguisher must have a minimum extinguishant capacity of 1 kg (2 lb for US application); equivalent size extinguishers are not permitted. It must be full and have a certificate of validity bearing the manufacturer's number and the date of manufacture or expiry.
- b) Plumbed-in extinguishers may be located in the engine compartment and must discharge into the engine compartment. Triggering systems must be located within the cockpit and be operable by the Driver in his/her normal driving position.
- c) Hand held extinguishers must be located within the cockpit and be accessible to the Driver once they have vacated the vehicle. These should be securely mounted to prevent movement while driving/braking. In the event of a fire, Drivers should first exit the vehicle and then if possible, remove the extinguisher and attempt to extinguish the fire if safe to do so.
- d) The on-board fire extinguisher does not replace the need for an adequate fire extinguisher for the team's garage area.

Article 33: Driver Position

For safety reasons, the head-first driving position is prohibited.

Article 34: Clutch and Transmission

- a) All vehicles with internal combustion engines must be equipped with a clutch system.
- b) For centrifugal / automatic clutches the starter motor speed must always be below the engagement speed of the clutch.
- c) **For Urban Concept only:** The vehicle must have 'idling capabilities', i.e. the vehicle must remain stationary with the engine running.
- d) For manual clutches the starter motor must not be operable with the clutch engaged. An interlock is required to facilitate this functionality.
- e) Please refer to Article 64: regarding starter motor requirements.
- f) The installation of effective transmission chain or belt guard(s) is mandatory.
This is required to protect driver or technician when working on the car in the event of the chain or belt breaking. It must be made of metal or composite material rigid enough to withstand a break.

Article 35: Exhaust System

- a) The exhaust gases must be evacuated outside the vehicle body.
- b) Exhaust pipes must not extend beyond the rear of the vehicle body.
- c) All vehicles are expected to comply with reasonable environmental standards, e.g. amount of smoke and odour emitted.
- d) All exhaust components must be made of metal.

Article 36: Sound Level

The sound level of the vehicle must not exceed 90 dB when measured 4 metres away from the vehicle.

Maximum sound levels will be measured and recorded at the start line and teams exceeding the permissible level will be notified with a request for correction within a reasonable timeframe.

Article 37: Emergency Shut-down

- a) An emergency shutdown system, **operable from both, the exterior of the vehicle and the interior driver position**, must be permanently installed on all vehicles (not part of the detachable bodywork used to allow driver access). A red arrow (on a white background) at least 10 cm long and 3 cm wide at the widest point must be positioned on the vehicle body to indicate clearly the exterior position of the emergency shutdown actuator. This system must stop the engine / motor.
- b) For Battery Electric vehicles the emergency shutdown mechanism must provide a **physical isolation** of the propulsion battery from the vehicle electrical system. If relays are used, the relays must be a normally open contact type. The use of a power controller or other logic systems to drive an isolation device is not permitted. It is suggested, but not required that the accessory battery be isolated as part of an emergency stop action.

c) For Hydrogen vehicles see Article 65:e) .

Article 38: Additional Inspections

a) After passing the technical inspection, the replacement and / or alteration of the engine, any vehicle wiring, or any other vehicle part must be re-approved by the Technical Inspectors.

b) After any significant incident to the vehicle, it must be re-inspected.

c) At any time, the Organisers may perform unannounced inspections on the vehicles.

3B - Prototype Group

Article 39: Dimensions

a) The maximum height must be less than 100 cm.

b) The maximum height measured at the top of the Driver's compartment must be less than 1.25 times the maximum track width between the two outermost wheels.

c) The track width must be at least 50 cm, measured between the midpoints where the tyres touch the ground.

d) The wheelbase must be at least 100 cm.

e) The maximum total vehicle width must not exceed 130 cm.

f) The maximum total length must not exceed 350 cm.

g) The maximum vehicle weight, without the Driver is 140 kg.

Article 40: Cockpit - Ventilation

No specification – please review considerations in Article 23:

Article 41: Tires, Wheels, Axles and Wheel Hubs

a) All types of tires and wheels are allowed.

b) Any type of wheel rim may be used. Rims must be compatible with the dimensions of the selected tires in order to satisfy safety standards.

Teams must take into account the fact that bicycle wheels are not generally designed to support substantial lateral cornering forces, such as may be found in Shell Eco-marathon vehicles at certain speeds.

The wheel axles must be designed for cantilever loads (like in wheel chairs) rather than for load distributed equally on both sides (like in bicycles).

c) Wheels located inside the vehicle body must be isolated from the Driver by a bulkhead.

d) Any handling or manipulation of wheels by the Driver is forbidden from the moment the vehicle is at the starting line until it crosses the finish line.

e) All installations must be carried out in a way that there is no likelihood of the wheels coming into contact with other parts of the vehicle (i.e. cables, wires, hoses, and engine compartment components like batteries, etc.). These must be safely mounted / secured so that they cannot interfere with the turning wheel during driving and cause accidents.

Article 42: Turning Radius and Steering

a) Front wheel or rear wheels steering is permitted. If rear wheel steering is used then it should be easy for the driver to locate the straight ahead position. If the Organisers are not satisfied with the effectiveness and/or control of a vehicles steering system, this vehicle will be removed from the competition. *As Shell Eco-marathon events move to narrower city tracks with more corners, efficient and stable steering systems are required. Rear wheel steering is less intuitive than front wheel steering due to the lack of inherent self-centring. Therefore, careful consideration should be taken when selecting and engineering this method, which needs to be tested and confirmed to be safe before arriving at the event.*

b) The turning radius must be sufficient to enable safe overtaking as well as negotiating the turns of the track. If the Organisers suspect that the turning radius of a vehicle is insufficient for the track, the vehicle will be required to negotiate a slalom course.

c) The slalom course in Asia and the Americas will require a turning radius of 6 m, in Europe it will require a turning radius of 10 m. It will also aim to verify driver skills and steering precision, i.e. that it has excessive play or undue delay.

For Europe only: Please note that the minimum turning radius will be reduced further in the coming years to be harmonised with Asia and the Americas. It is strongly recommended to design any new vehicle with a minimum turning radius of 6 m.

d) Electrically operated indirect steering systems are permitted providing they are operated by a steering wheel or similar (rotary potentiometer), joystick operation is not permitted. When electronic steering systems are used, then in event of release of the steering wheel by the driver or electrical failure, the vehicle should revert to the straight ahead position.

Article 43: Braking

- a) Vehicles must be equipped with two independently activated brakes or braking systems; each system comprising of a **single command control** (lever(s) working together or foot pedal), **command transmission** (cables or hoses) and **actuators** (callipers or shoes).
- b) One system has to act on **all** front wheel(s), the other on **all** rear wheel(s). When braking on two steering wheels at the front, two actuators (callipers or shoes) have to be used-one on each wheel, commanded by only one command control. In addition, the right and left brakes must be properly balanced.
- c) The rear system must work on each wheel, unless they are connected by a common shaft in which case they can have a single system.
- d) It must be possible to activate the two systems at the same time without taking either hand of the steering system. Foot control is recommended.
- e) The effectiveness of the breaking systems will be tested during vehicle inspection. The vehicle will be placed on an incline with a 20 percent slope. The brakes will be activated each in turn. Each system alone must keep the vehicle immobile.
- f) The use of a hydraulically controlled braking system is highly recommended.
Cable operated systems are allowed as long as they are effective and pass the brake test.

3C - Urban Concept Group

Article 44: Definition

Under the name “Urban Concept”, Shell offers an opportunity to design and build fuel efficient vehicles that are close in appearance to today’s production type passenger cars. Urban Concept vehicles must comply with the specific rule of the Shell Eco-marathon for this group. One particular feature of this group is that vehicles competing in this group will require “stop & go” driving.

Article 45: Dimensions

- a) The total vehicle height must be between 100 cm and 130 cm.
- b) The total body width, excluding rear view mirrors, must be between 120 cm and 130 cm.
- c) The total vehicle length must be between 220 cm and 350 cm.
- d) The track width must be at least 100 cm for the front axle and 80 cm for the rear axle, measured between the midpoints where the tyres touch the ground.
- e) The wheelbase must be at least 120 cm.
- f) The Driver’s compartment must have a minimum height of 88 cm and a minimum width of 70 cm at the Driver’s shoulders.
- g) The ground clearance must be at least 10 cm.
- h) The maximum vehicle weight (excluding the Driver) is 205 kg.

Article 46: Vehicle Body

- a) Teams are requested to submit technical drawings, photographs or animations of their entire vehicle design to the organisers for approval at their earliest opportunity.
This is strongly recommended to avoid upsets by failing the technical inspection at the event on grounds of design non-compliance.
- b) The body must cover all mechanical parts whether the vehicle is viewed from the front, the rear, the sides or from above. However, the wheels and suspension must be fully covered by the body when seen from above and up to the axle centre line when seen from front or rear. The covering for the wheels and suspension must be a rigid integral part of the vehicle body.
- c) It is prohibited to use any commercially available vehicle body parts.
- d) Access to the vehicle by the Driver must be as easy and practical as typically found in production type passenger cars. The “door” opening must have a **minimum** dimension of 500 x 800 mm.
This means the door opening will be verified with a rectangular template of 500 x 800 mm.
- e) Any access opening mechanisms (e.g. doors) must be firmly attached to the vehicle body (e.g. by means of hinges, sliding rails, etc.). Adhesive tape, Velcro, etc. are not permitted for this purpose.
- f) The vehicle must have a roof covering the Driver’s compartment.
- g) A windscreen with effective wiper(s) is mandatory. Please refer to Article 52.
- h) Luggage space must be available for a rectangular solid box with dimensions of 500 x 400 x 200 mm (L x H x W). This space must be easily accessible from the outside and must include a floor and sidewalls to hold the luggage in place when the vehicle is moving. This box must be supplied

by the competitor and must be placed in this space during the competition. For drivers requiring ballast this box must contain the ballast in a safe and secure manner.

- i) Vehicle bodies must not include any external appendages that might be dangerous to other Team members; e.g. sharp points must have a radius of 5 cm or greater, alternatively they should be made of foam or similar deformable material.
- j) A towing hook or ring is mandatory on the front of the vehicle, under the body and easily accessible, so that it can be towed with a cable by another vehicle. This hook or ring must resist a traction force of 2,000 N (~200 kg).

Article 47: Turning Radius and Steering

- a) Vehicle steering must be achieved by one system operated with both hands using a turning motion. It must be precise, with no excessive play.
- b) Steering must be achieved using a steering wheel or sections of a wheel.
- c) Steering bars, tillers, joysticks, indirect or electric systems are not permitted.
- d) The turning radius must be less than 6 m.
- e) A vehicle handling course may be set up in order to verify the following when the vehicle is in motion: driver skills, turning radius and steering precision. In particular, Inspectors will verify that steering is precise, with no excessive play.

Article 48: Wheels

- a) The rims must be between 13 to 17 inches in diameter.
- b) The wheels located inside the vehicle body must be made inaccessible to the Driver by a bulkhead. Any handling or manipulation of the wheels is forbidden from the moment the vehicle arrives at the starting line until it crosses the finish line.

Article 49: Tyres

The choice of tyres is free as long as they are fitted on the type and size of rims recommended by their manufacturers and have a minimum tread of 1.6 mm. The tyre / rim assembly must have a minimum width of 80 mm, measured from sidewall to sidewall. The width is measured with the tyre fitted on its rim at its rated pressure.

Caution: the manufacturer's size indications should not be taken as measure, as the width of the rim directly impacts the width of the rim/ tyre assembly.

Article 50: Lighting

The vehicle must have a functional external lighting system, including:

- a) Two front headlights
- b) Two front turn indicators
- c) Two rear turn indicators
- d) Two red brake lights in the rear
- e) Two red rear lights (may be combined with the brake lights)
- f) The centre of each headlight unit must be located at an equal distance and at least 30 cm from the longitudinal axis of the vehicle.
- g) The mandatory red indicator light for the self starter operation must be separate from any of the above (Article 64:c))

Article 51: Braking

- a) The vehicle must be equipped with a four-disc hydraulic brake system, with a brake pedal, which has a minimum surface area of 25 cm².
- b) The brakes must operate independently on the front and rear axles or in an X pattern (i.e. right front wheel with left rear wheel, and left front wheel with right rear wheel).
- c) A single master cylinder may be used, provided that it has a dual circuit (two pistons and dual tank).
- d) The effectiveness of the braking system will be tested during vehicle inspection for both Drivers. The vehicle must remain immobile when it is placed on a 20 percent incline with the main brake in place. Moreover, a dynamic inspection may be performed on the vehicle-handling course.
- e) Wet weather capability is mandatory (see Article 52)

Article 52: Wet Weathered Running

- a) During weather conditions of light rain/drizzle, the Urban Concept vehicles (**only**) may be required to drive on the track during competition with approval from the Race Director. Therefore, all Urban Concept vehicles must be adequate for running under such conditions.

- b) The vehicle must be equipped with an effective electric windscreen wiper(s).
- c) The operation of the wiper assembly must be activated by an independent switch easily accessible to the driver.
- d) The wiper operation must provide the driver a clear view.
This means the wiper unit must function as designed, and remain on the vehicle during competition.
- e) The vehicle must be adequately ventilated to prevent driver's compartment from fogging.
- f) The vehicle's electrical system must be suitable for wet weather conditions (e.g. will not malfunction during wet conditions).
- g) Tyres must have a minimum tread of 1.6 mm (refer to Article 49).
- h) The vehicle's brake effectiveness may be re-inspected before and/or after any run.
- i) The effectiveness of the vehicle to run in wet conditions will be evaluated during the initial inspection phase.

4- ENERGY SOURCES

4A - General

Article 53: Energy Types

Vehicles may only use the following energies:

- a) Internal Combustion:
 - i) Shell FuelSave Unleaded 95 (Europe and Asia) / Shell Regular 87 (US) Petrol / Gasoline. **
 - ii) Shell FuelSave Diesel (Europe) / Shell Diesel (Asia and US). **
 - iii) Shell Gas to Liquid (100% GTL).
 - iv) Fatty Acid Methyl Ester (100% FAME).
 - v) Ethanol E100 (100% Ethanol).

*** The gasoline and diesel provided by the Organisers are the Shell fuels prevalent in the local markets where the events take place. For testing and tuning purposes in the team's home countries where Shell FuelSave Unleaded 95 and Shell FuelSave Diesel are not available it is recommended to use the locally available Shell Unleaded 95 or Shell Diesel instead.*

- b) Electric Mobility:
 - i) Hydrogen.
 - ii) Battery Electric.

Weather conditions will vary throughout the event and teams using solar cells need to take this effect into account during the competition.

Article 54: Results Calculations

- a) Results for the Internal Combustion Category will be expressed in kilometres per litre (km/l) (i.e. theoretical distance covered using energy of Shell FuelSave Unleaded 95 (Europe and Asia) / Shell Regular 87 (US) Petrol / Gasoline equivalent) corrected to a temperature of 15 °C.
- b) Regardless of the fuel used, the ranking will be determined from this equivalent consumption of Shell FuelSave Unleaded 95 (Europe and Asia) / Shell Regular 87 (US) Petrol / Gasoline. This calculation will be performed using the net calorific value (NCV), which represents the quantity of energy released per unit mass or volume of fuel during complete combustion yielding steam and carbon dioxide.
- c) Typical NCV values (mass basis) for different fuels are given in the table below. The NCV values (vol.) at 15 °C are calculated on the day of competition by multiplying the actual mass-based NCV by the fuel density at 15 °C.

Internal Combustion Fuel	NCV by mass (kJ/kg)
Shell FuelSave Unleaded 95 (Europe and Asia) Shell Regular 87 (US) Petrol / Gasoline	42,900
Shell FuelSave Diesel (Europe) Shell Diesel (Asia and US)	42,600
Fatty Acid Methyl Ester	37,700
Gas to Liquid	44,000
Ethanol E100	26,900
Hydrogen	119,930

d) For example, if a distance of 1,000 km is covered with one litre of Shell Diesel, whose corresponding energy is 35,660 kJ (if we assume a fuel density of 0.83716 kg/l at 15 °C), this represents 0.0280 km covered per kJ. Since the energy from one litre of Shell FuelSave Unleaded 95 (Europe and Asia) / Shell Regular 87 (US) Petrol / Gasoline is 32,010 kJ (if we assume a fuel density of 0.74616 kg/l at 15 °C), this corresponds to a corrected distance of 896 km (rounded to the nearest unit). The final result for a vehicle having covered 1,000 km with one litre of diesel fuel (at the reference temperature of 15 °C) will thus be 896 km for the equivalent of 1 litre of Shell FuelSave Unleaded 95 (Europe and Asia) / Shell Regular 87 (US) Petrol / Gasoline (also at the reference temperature of 15 °C).

- e) Results for Hydrogen Fuel Cell and Battery Electric vehicles will be expressed in kilometres per kilowatt hour (km/kWh).
- f) Fuel Cell vehicles will use a flow meter to measure the H₂ consumed. The result will be calculated using the NCV of H₂ listed above.
- g) The results of Battery Electric vehicles will be determined by using joulemeters which are supplied by the Organisers.



h) The results for hybrid vehicles will be expressed based on the primary energy used.

Article 55: Fuels Supply & Handling

a) Only the fuels listed in Article 53; as provided to the participants by the Organisers during the event, are authorised for use during practice and competition.

b) Supplies adequate for practice and competition will be available by the officials in charge of measuring fuel consumption.

c) No additives may be added to the fuel. Only the power derived from the combustion of the fuel in the presence of air alone within the engine system may be used for forward propulsion. No other material that could serve as engine fuel may be used at any time during the event.

d) Any participant handling fuel must wear safety glasses and chemically resistant gloves.

e) No additives, catalysts, water injection, or fuel treatment devices are allowed.

Article 56: Engine Lubricants

The Organisers will provide the engine oil for use by the competitors.

Article 57: Vehicle Electrical Systems

a) For safety reasons, the maximum voltage on board of any vehicle at any point must **not exceed 48 Volts nominal and 60 Volts max** (this includes on-board batteries, external batteries, super capacitors, fuel cell stack, solar cells, etc).

Battery definition: A 'battery' is defined as a source of electrical energy, which has exactly two connectors and comes as a single unit. This single unit may contain more than one sub-unit.

b) If Lithium-Ion based batteries are used, **Battery Management Systems (BMS)** tailored to this chemistry must be installed to control and protect the battery against risk of fire. The BMS must provide cell balancing and overvoltage protection during off-track charging. For e-mobility vehicles, the additional requirement of overdischarge, over-current and over-temperature must be provided as part of the on-vehicle system. **The BMS must AUTOMATICALLY isolate the battery, without operator intervention**, if a limit or out of range condition is reached on any of the above parameters. For Li-Ion based accessory batteries, the BMS cell balancing and overvoltage protection may be contained as part of the off-board charger.

c) All batteries and super capacitors must be short circuit protected. Protection may be in the form of a fuse, fusible link, or a current interrupting device (circuit breaker). Automatic reclosing current interrupting devices are not allowed. Short circuit protection devices must be located on the positive conductor and as close as possible to the battery or super capacitor itself. The rating of the short circuit protection device must be such that the battery or super capacitor will be able to supply enough short circuit current at all times to open the device.

d) All vehicle electrical circuits must be protected against electrical overload. Overload protection may be in the form of fixed current limits within electric controllers or by the insertion of individual circuit fuses.

e) The accessory battery (refer Article 57:h)) must maintain a negative ground.

f) For safety reasons, the propulsion battery or super capacitors, both positive and negative circuits must be electrically isolated from the vehicle frame and the accessory battery circuit.

This only applies to Hybrid and e-mobility vehicles which have a propulsion battery.

g) Only one propulsion battery (for e-mobility vehicles only) and one **accessory battery** per vehicle are allowed.

h) The **accessory battery** must operate all safety devices (e.g. horn, hydrogen sensor) for the duration of the competition and may also operate, only for internal combustion engine, the starter motor, the ignition, the instrumentation and electronic management systems. All other additional sources of electricity are forbidden.

i) The **accessory battery** is not allowed to power compressors, blowers, engine cooling systems, motors, etc. It may however be used to power a ventilation / cooling fan for the driver.

j) The Organisers reserve the right to request Teams to install one joulemeter, intended to measure the quantity of energy provided by the accessory battery. If this amount of energy exceeds the power typically required to operate the starter motor, horn and safety devices the competitor will be disqualified.

k) Both propulsion and accessory batteries must be installed outside of the driver's compartment behind a bulk head. (See Article 27:)

l) The following devices may be powered by batteries other than the propulsion or accessory battery provided they use built-in batteries: radio communication system, GPS system, data loggers excluding engine management units, driver ventilators.

m) All electrical / electronic enclosures built and populated by the teams must be made of transparent material or at least have a transparent cover to allow the technical inspectors to view the contents.

Article 58: Technical Documentation

a) Competitors must provide the Organisers with a precise technical description of the vehicle's fuel system and electrical circuitry. This documentation serves only to verify that the teams have an understanding of the Rules. Admission to the competition in no way constitutes a pre-approval for the Technical Inspection phase. Final technical approval is only granted at the event.

b) Technical Documentation – **prior to event**.

- i) Competitors must provide, through the online submittal process, documentation on the fuel and vehicle electrical system.
- ii) For internal combustion vehicles, the documentation must include a description and a precise technical drawing of the fuel supply system from the tank to engine. This should contain the following:
 - 1. Major fuel system components such as pressurised air bottle, pressure relief valves, air pressure gauges, fuel tank, filters, valves, carburettors, fuel injectors, float chambers, pumps, starter motor, engine, etc.
 - 2. A description on how the vehicle clutch works (showing that use of the starter motor will not engage the clutch)
- iii) For all vehicles, the electrical systems documentation may be in form of one or more block diagrams / electrical circuit diagram containing the following:
 - 1. Point to point vehicle wiring diagram showing the location of all major relevant electrical components of the system, such as batteries, super capacitors, fuses/circuit protectors, lights, alternators, horn, starter motor (for **e-mobility vehicles** this should also include drive train components such as fuel cells, motors, controllers, solar cells, MPPTs, joulemeters), etc.
 - 2. Component voltage, current, and power ratings of major components.
 - 3. Locations and ratings of all circuit protection devices.
 - 4. Illustration of how the emergency stop system works, and presence of both external and internal emergency switches in the electrical circuit. A separate sheet may be used to illustrate this if necessary.
 - 5. A description of any battery(s) or ultra (super) capacitors being used in the system, including type, rated voltage, max charge voltage and capacity in amp-hours or capacitance.
 - 6. Starter motor, starter light connections (for vehicles with starter motor).

c) Technical Documentation – **at event** (to be reviewed during Technical Inspection)

- i) Competitors must have available for inspection with the vehicle, a **printed copy** of the **latest version** of the documents submitted above (Article 58b)) and the additional documentation as defined below.
- ii) For all vehicles, if a Lithium-Ion battery is used as accessory battery, printed / written documentation on the BMS operation must be provided. (Note, the requirement for BMS system operation data is independent of whether the BMS is integrated into a purchased battery, part of the charger or special built.) The BMS data **MUST** include:
 - 1. Cell over-voltage protection limits.
 - 2. Operation of cell balancing (how and when).
 - 3. Battery operation when over-voltage, limits are reached. (that is, what will the BMS/Battery do when these limits are reached)
- iii) For all E-mobility vehicles printed/written documentation on the BMS operation must be provided. (Note, the requirement for BMS system operation data is independent of whether the BMS is integrated into a purchased battery or special built.) The BMS data **MUST** include:
 - 1. Cell over-voltage and under-voltage protection limits.
 - 2. Battery over-current limit.
 - 3. Operation of cell balancing (how and when).
 - 4. Battery over-temperature limit.
 - 5. How the BMS will protect the battery when an over-voltage, under-voltage, over-current or over-temperature condition is reached. (That is, how will the BMS isolate the battery when these limits are reached?)
- iv) For E-mobility vehicles the additional printed technical documentation must include:
 - 1. Any additional information not submitted prior to the event on the battery type, energy capacity and nominal voltage ratings (both propulsion and accessory if used).
 - 2. Any additional information not submitted prior to the event on the motor(s) and motor controller(s) power and voltage ratings.
 - 3. PV data sheet power and voltage ratings (Pmpp, Isc, Voc, Vmpp) (if used).
 - 4. PV controller (MPPT), power and voltage ratings (if used).

4B - Internal Combustion EnginesArticle 59: Propulsion

The type or design of the internal combustion engines is not restricted, however they must run only on the fuel provided by the Organisers and must not consume any engine oil (2 stroke engines are forbidden).

Article 60: Other on-board energy sources

- a) For all fuel categories, stored electrical or pneumatic energy not replaced during the competition by the engine may only be used for the self-starter, the ignition, the injector, the instrumentation, the horn and electronic management systems.
- b) Fuel pumps are permitted for all fuels provided they are mechanically driven by the engine only.
- c) It is permitted to pressurise the liquid fuel tanks, in order to feed the engine, only under the following conditions:
Pressurisation is done by means of a translucent compressed air bottle fitted with a **safety valve** set to 5 bars maximum – or the lower operation pressure of the vehicle system. It must include a standard valve as used for car tires in order to enable verification / control of the pressure setting for the safety valve. The said pressurisation is done in the starting area by means of an air pump. The Driver must not modify the pressure during the competition.
- d) Auxiliary energy sources (chemical, latent energy from phase changes, etc.) are not permitted.
- e) If the engine temperature is regulated, the said regulation should be limited to the use of pure, un-pressurised water as coolant. The external regulation temperature of the engine (for engines thus equipped) is limited to 100 °C.
- f) It is forbidden to use a battery-powered electrical pump to ensure oil or water circulation in the engine, except in cases where this pump is only used when the engine is being started.

Comment: For 2014 the use of electric fuel pumps creating higher injection pressures is under consideration. They will only be allowed if the entire system (tank, fuel lines, pump, injector) can be easily and safely removed from the vehicle for weighing purposes.

Article 61: Fuel Tanks (with the exception of Hydrogen)

- a) The vehicle must be equipped with only one of the following approved fuel tanks supplied by the Organisers:
Tank capacities: Prototype: 30, 100 or 250 cc
Urban Concept: 30, 100, 250 or 350 cc
- b) Only tanks bearing a clearly visible stamp proving its "APAVE"* certification compliance can be used for pressurised systems.
**APAVE: This organisation tests fuel tanks and certifies their ability to withstand a pressure of 5 bar (72.4 psi).*
- c) The fuel tank has to be mounted in an accessible and zero degree vertical position which allows in-situ filling with a burette of approx 1 metre height.
- d) The fuel tank must be mounted in a way that its top is at least 5 cm below the roll bar.
- e) The fuel tank cap, whether it is leak proof or not (drilled), must be in place at all times during the competition.
Note that for gravity fed systems a small (<3 mm) hole should be drilled in the centre of the cap to allow air to enter the tank, hence allow fuel out!
- f) Fuel return lines must be fed into the fuel feed line below the fuel tank. However, the return line can only be fitted to the fuel cap if the engine was originally equipped with a manual priming pump and this return line and the pump have not been modified.
- g) Competitors must equip their vehicle with clear fuel lines which are not prone to expansion when pressurised (max. internal diameter 8 mm). At technical inspection the Organisers will supply a suitable line if required
- h) For pressurised fuel systems the hoses connecting the pressure bottle with the fuel tank cap must be flexible (do not need to be Rilsan / Nylon type) to allow easy connection and in order to prevent side loading to the tank necks.

Article 62: Fuel System

- a) The participants must provide a description and a precise technical drawing of the fuel supply system from the tank to engine.
- b) This system must be designed in such a way that it can be completely drained and refilled before the competition.
- c) The fuel line between the tank and the engine must not include any additional elements (no additional filters or valves).
- d) For diesel engines, a cut-off solenoid valve is required.
- e) Any fuel system including a float chamber (carburettor) must be fitted with a drain valve at the bottom of the carburettor enabling Inspectors to partially drain the chamber and to ensure that the fuel level goes down in the tank.
- f) The air intake manifolds must not contain any fuel (or be able to accumulate any fuel) or blowby gas when the vehicle is on the starting line prior to departure. Blowby gas must not be recycled during the competition but needs to be collected in a specific canister for environmental protection.
Blowby gas: gas inside the engine (in particular, oil vapours, unburnt gas or gas in the combustion chamber that has not been evacuated in the exhaust). This gas is usually recovered at the intake manifold. This is known as blowby gas re-circulation.
- g) The fuel system must be easily accessible for inspection and measurements.
- h) It must be possible to set the fuel supply system to atmospheric pressure for measurement of the fuel level. The pressurisation system must be equipped with a pressure gauge and normal running pressure must be clearly marked on the gauge.
- i) The standard fuel consumption measurement method for liquid fuels is by volumetric replacement of the fuel consumed and temperature corrected fuel (including temperature correction).
- j) The fuel consumption of gasoline and ethanol powered vehicles which have achieved more than 1500 km/l (3528 mpg) in the past will be measured gravimetrically. At the start a Technical Inspector will fill the fuel system and then the entire fuel system (including tank, injector, pipes, carburettor) will be weighed on a precision balance. All these components must be compact and easily detachable for weighing purposes. After completion of a successful run, the entire fuel system will be de-installed and weighed again on the same balance. This handling of the fuel system, including mounting to and dismounting from the vehicle and transporting it to the weighing room must be performed by a competent team member who has a valid garage access pass. The entire process of handling the fuel system will be supervised by a Technical Inspector. The weighing will also be performed by a Technical Inspector and needs to be witnessed by a Team Member.
- k) Fuel is a volatile product. Therefore, it is not allowed to artificially increase the fuel system temperature, which would lead to the formation of vapour locks. Conversely, cooling or refrigeration of the fuel below ambient temperature is also prohibited.

Article 63: Vehicles using hybrid technology

- a) A Super Capacitor is the only allowed energy storage device for hybrid vehicles. The use of any battery for the hybrid propulsion system is forbidden.
- b) This capacitor must be the only source of stored energy for the electric motor driving the vehicle. It must be electrically isolated from the vehicle accessory battery (see Article 57:f)).
- c) Two connectors must be installed safely outside the vehicle to allow the voltage measurement on the starting line.



d) The state of charge of the Super Capacitor will be checked before and after each run by measuring its voltage. The voltage registered after the run must be at least equal to the voltage registered before the run. In the event of the contrary, the Super Capacitor must be re-charged by running the engine until its voltage is equal to the voltage registered before the run. The time required to recharge the super capacitor by running the engine after the competition is added to the recorded time of the relevant run.

e) As per Article 57, an accessory battery can be used to power the self-starter, the ignition, the injector, the instrumentation, the horn and electronic management systems.

f) The entire electric circuitry must be correctly fused to prevent overloading any of its parts. This fuse needs to be clearly identified in the technical drawings and easily visible and accessible for technical inspection. (See Article 57.)

Article 64: Starter

a) An electric starter may be used during the competition, provided that it can operate only when the ignition and fuel systems are activated.

b) It must be clearly established that the starter is **never** capable of providing any forward propulsion to the vehicle. (see also Article 34: Article 34d))

c) **Starter light: A clearly visible red indicator light, equivalent in its luminescence to a 21 W light bulb, must be installed** on the rear of the vehicle and must be clearly visible from both sides of the track in order to signal any operation of the started motor.

d) In the event that Track Marshals report the repeated or intensive use of the electric starter by a Team, the Organisers reserve the right to order an immediate inspection of the vehicle and to install a joulemeter to measure starter energy used. If any non-compliance is observed, the Team will be penalised accordingly.

e) At the start, the starter and hence the starter light must be extinguished by the time the rear wheel of the vehicle crosses the start line. Failing to comply will invalidate the run and count towards the maximum number of attempts.

4C - Electric Propulsion

Article 65: Fuel Cell Powered Vehicles

a) Fuel system

i) The competitors must provide a description and a precise technical drawing of the fuel supply system.

ii) The fuel system must be easily accessible for inspection and measurements.

iii) The fuel cell must run by itself. The electricity needed for temperature regulation, fan, compressor, electronic management system for the fuel cell and the electric motor must be supplied by the fuel cell and not by the onboard battery.

iv) The hydrogen system must be designed as follows:

H2 cylinder → Pressure regulator directly attached to the cylinder → Emergency shutdown valve directly attached to the outlet of the pressure regulator → Flow meter → Fuel Cell

v) The flow meter must be fixed at the inlet of the fuel cell. Both must be at the same pressure.

b) Hydrogen cylinders

i) FC-powered vehicle must use a compressed hydrogen cylinder, referred to hereafter as a cylinder, as provided by the Organisers during the entire event. Only one cylinder may be fitted to a vehicle at any time.

ii) Cartridges and any other means of hydrogen storage are not permitted.

iii) For Prototypes vehicles, the following cylinders will be provided:

Europe: B04 cylinder, 0.4 litre of hydrogen at 200 bar. (7 cm / 33cm) 1.4 kg

Americas: Exchange cylinder ~ 140 bar 7" X 16" (18 cm x 41 cm), 15 lbs. (7 kg)

Asia: Catalina MD cylinder, 2.9 litre of hydrogen @139 bar (11.1 cm x 42.4 cm), 2.4 kg

iv) For Urban Concept vehicles, the following cylinders will be provided:

Europe: B1 cylinder, 1 litre of hydrogen at 200 bar. (10 cm x 35 cm) 2.57 kg

Americas: Exchange cylinder ~ 140 bar 7" X 16" (18 cm x 41 cm), 15 lbs. (7 kg)

Asia: Catalina MD cylinder, 2.9 litre of hydrogen @139 bar (11.1 cm x 42.4 cm), 2.4 kg

v) Cylinders must be installed on the vehicle under the supervision of a Fuel Marshal. Participants are not allowed to keep any cylinders in their possession over night. Upon arrival at the circuit, Team Managers must contact the Fuel Marshal, who will organise all relevant logistics.

c) Ventilation

The vehicle body must allow for ventilation at the highest point of the fuel cell compartment, providing an orifice with a minimum opening of 5 cm². Another 5 cm² opening must be provided at the highest point of the driver compartment.

d) Hydrogen detector

i) A hydrogen sensor must be installed in the fuel cell compartment, near the main ventilation orifice mentioned above. This hydrogen sensor must drive the emergency shutdown valve and relay mentioned below. The trip level of the hydrogen sensor must be tuned to 25% of the LEL (Lower Explosive Limit) of hydrogen, i.e. 1% of hydrogen in air. A test will be carried out during the technical inspection.

For commercial Fuel Cells with integrated H2 detector it is still required to fit a H2 sensor as described above.

ii) **The reset of the hydrogen detector, i.e., the hydrogen sensor and its electronics, must be done manually** via a switch located in the fuel cell compartment. This switch must not be accessible by the pilot from the cockpit.

e) Emergency shutdown valve and relay

i) The hydrogen supply circuit must be equipped with a solenoid emergency shutdown valve. This valve must be normally closed in the absence of electricity.

ii) The power supply to the motor must be automatically cut off at the same time as the above emergency shutdown valve is activated. This is to be achieved by a suitable fail-safe relay.

- iii) This valve and relay must be activated by any of the following three scenarios:
 - 1. Through hydrogen detection as explained above
 - 2. Through the emergency push-button located on the outside of the vehicle. A red arrow (on a white background) at least 10 cm long and 3 cm wide must be positioned on the vehicle body to clearly indicate the place of this emergency push-button. (Note: It must not be part of the detachable bodywork used to allow driver access)
 - 3. Through another emergency push-button, accessible by the pilot in driving position.
 - iv) In case of activation by one of these three scenarios, the valve and relay must act simultaneously.
 - v) These three scenarios will be tested during the technical inspection and before each attempt.
- f) Pipes and connections of the hydrogen circuit
- i) In all cases, piping and connectors of the hydrogen circuit must be designed for hydrogen use. The Team Manager must be able to present during the technical inspection the technical data sheets from the manufacturer of these piping and connectors to show that they are suitable for hydrogen use.
- The use of PTFE pipes is recommended. PU tubing should not be used as this tends to leak.*
- ii) If the pressure in the hydrogen circuit is higher than 1.5 bar absolute (≈ 0.5 bar above atmospheric pressure) piping must be made of steel and connectors must be screw / compression type.
 - iii) If the pressure in the hydrogen circuit is lower than 1.5 bar absolute (≈ 0.5 bar above atmospheric pressure) flexible piping and unscrewed connectors are accepted.
 - iv) PTFE (Teflon) sealing tape must not be used because it can damage the flow meter. In any case competitors are responsible for damage to the flow meter due to wrong connections.
- g) Purge pipe. If a purge pipe is needed, its end must be located outside the vehicle.
- h) Measurements and Equivalencies
- i) The consumption of hydrogen is measured by an embedded flow meter. The flow meter will be checked / calibrated by the Organisers before technical inspections.
 - ii) The flow meter has to be purchased from the Organisers.
 - iii) The volume of hydrogen consumed is posted in normal litres. The display of the flow meter must be easy to read from outside the vehicle, when the vehicle body is closed. It must be inaccessible by the pilot in normal driving position.
 - iv) The serial number on the hydrogen flow meter must not be covered or removed.
- i) Oxygen and air reserves. The use of non-replaced oxygen or compressed air reserves is forbidden.
- j) Super Capacitors
- i) If an embedded electric storage device is part of the power-train, it must be of capacitor type, referred to hereafter as 'Super Capacitor'. Other types of embedded electric storage device (Pb, NiMh, etc. batteries) are forbidden.
 - ii) The state of charge of the super-capacitor will be checked before and after each run by measuring the super-capacitor voltage. Two measurement points (super-capacitor voltage + and -) must be installed outside the vehicle to allow the voltage measurement on the starting line.
 - iii) The voltage registered after the run must be at least equal to the voltage registered before the run. In the event of the contrary, the super-capacitor must be re-charged by running the fuel cell until their voltage is equal to the voltage registered before the run. The additional time required to recharge the super capacitor by running the fuel cell after the competition is added to the recorded time of the relevant run
 - iv) The maximum super capacitor voltage must not exceed that referenced in Article 57:a).
- k) External starter battery
- i) An external battery can be used on the starting line to start the fuel cell system. As soon as the vehicle starts to move, this battery must be unplugged.
 - ii) If an external battery is used, two connectors must be installed outside the vehicle to allow a quick connection and fuel cell system start on the starting line. These external connectors must be securely fastened to the vehicle.
 - iii) As mentioned in Article 57:h) it is mandatory to power the hydrogen detector and the horn using the accessory battery. This battery must also power the emergency shutdown valve, relay and lighting system for Urban Concept vehicles.
- l) Electrical circuit / Electronics
- i) All wiring associated with the accessory battery circuit must only be in two colours, positive in orange and negative in purple. All other wiring used must be in any other colour except orange or purple.
 - ii) A fuse must be installed on the positive terminal of the fuel cell stack. Its melting current (expressed in Amps) must be less than the active area (expressed in square centimetres) of one cell of the stack. For instance, if the active surface of one cell of a 20 cell stack is 60 cm², the melting current of the fuse must not exceed 60 A.
 - iii) "If a super-capacitor is used in the circuit, a fuse must be installed on the positive terminal of the super-capacitor pack. The fuse rating must be less than or equal to the maximum usable power divided by the rated voltage."
- m) Other equipment Compressors, fans and coolers for the fuel cell system must be powered by the fuel cell or super capacitor (**not** by the accessory battery). (Refer Article 57:i))

Article 66: Not Used

Article 67: Battery Electric Vehicles

- a) This category is open to both Prototype and Urban Concept entries.
- b) The drive train in the 'Battery Electric' category is restricted to a maximum of one electric storage device, and up to two electric motors, with associated control units.
- c) Only Lithium-Ion batteries are permitted as electric storage devices.

d) The vehicle must be equipped with a Battery Management System (BMS) to control and protect the battery against risk of fire as defined in Article 57:.

Please do note that as of 2013 any BMS for propulsion Batteries must provide an AUTOMATIC isolation of this battery in the event of any measured parameters getting out of their designed range.

e) The Lithium-Ion battery and any accessory circuits are subject to the maximum voltage defined in Article 57:a)

f) An accessory battery as defined in Article 57:h) is permitted. If one is used, all accessory circuits must not be connected to any of the electric circuit(s) involving any power train components and must only be used to power safety related components and only those systems mentioned specifically in Article 57:.

g) Solar cells **MAY** be integrated into the vehicle electrical circuit. If solar cells are included they must meet the following requirements:

1. The solar cells must be fully integrated into the bodywork of the vehicle. They must NOT form an independent structure or be part of any other structures protruding from the vehicle.

2. The maximum voltage present at any point in any circuit, whether before or after the maximum power production (MPP) controller, must not be greater than that defined in Article 57:a).

3. For a Prototype vehicle, the total combined surface area of the solar cells shall be less than 0.17 m² (e.g. 10 cells of 5x5 inches or 7 cells of 6x6 inches).

4. For an Urban Concept vehicle, the total combined surface of the solar cells shall be less than 0.65 m² (e.g. 40 cells of 5x5 inches or 27 cells of 6x6 inches).

5. The output of the solar cells will be measured through a joulemeter. The joulemeter will be connected in the vehicle electrical circuit before the motor joulemeter and after the solar cell MPP controller, if equipped.

6. The calculation of the race result (expressed in km/kWh) will be based on the Net propulsion energy supplied by the battery only, excluding the energy contributed by the solar cells, i.e. Net propulsion energy = motor propulsion energy – solar energy. The motor propulsion energy includes both, the energy consumed by the motor and the motor controller.

h) The competitors will be required to present electrical schematics at the competition technical inspection. (See Article 58:)

i) All Batteries must be placed outside the driver's compartment behind the bulkhead and securely mounted. Bunge cords or other elastic material are not permitted for securing the battery. (see Article 27:)

j) All vehicles must be equipped with one joulemeter located between the battery and the motor controller(s), and, if equipped with solar cells, a second joulemeter for the solar output as described in Article 67: g) 5 above, to measure the vehicle propulsion energy consumption.

k) The Organisers will provide the joulemeter(s) for the duration of the event. A security deposit may be required for the joulemeter.

l) The joulemeter(s) must be positioned so that its display can be easily read from outside the vehicle.

m) The joulemeter(s) must be inaccessible to the Driver in his or her normal driving position.

n) All electrical circuits must be protected as defined in Article 57:d).

o) On the starting line, Fuel Marshals will reset the joulemeter(s) to zero, and then the vehicles will have access to the track to start their attempt under the same distance and time conditions as specified for their respective vehicle class.

p) At the finish line, Fuel Marshals will read the joulemeter(s) display.

q) All 'Battery Electric' vehicles which complete a successful run will be classified in descending order of fuel economy, expressed in km/kWh.

Anexo II: Determinación dimensiones del piloto

La determinación del espacio ocupado por el piloto se inicia calculando el área sobre la que estará apoyado. Para ello se obtiene la longitud total ocupada de la siguiente forma,

$$L = 4. + 32. = 1256mm + 173mm = 1429mm, \quad \text{Ecuación Anexo II. 1}$$

siendo,

L la longitud total del área ocupada por el piloto.

4. Altura de los hombros (Tabla 8.1).

32. Longitud de la cabeza (Tabla 8.1).

Debido a que, como el piloto debe estar mirando al frente mientras se encuentra casi completamente tumbado, la longitud ocupada corresponde a la distancia del hombro al pie añadiendo el largo de la cabeza.

Como el ancho del área ocupada varía a lo largo del piloto se procede a definir las dimensiones correspondientes a los cambios de ancho. Empezando por la cabeza, se toma el ancho entre los codos (367 mm) ya que es mayor que el ancho de hombros (304 mm) hasta la situación de la mano. Calculándose la posición de la mano como,

$$L_m = 32. + 39. = 173mm + 606mm = 779mm, \quad \text{Ecuación Anexo II. 2}$$

donde,

L_m la posición de la mano con respecto al extremo superior del área ocupada por el piloto.

32. Longitud de la cabeza (Tabla 8.1).

39. Alcance máximo horizontal (Puño cerrado) (Tabla 8.1).

Al considerarse la medición desde el extremo superior de la cabeza del piloto. A partir de este punto el área ocupada por el piloto disminuye desde el ancho de las caderas (316 mm) hasta el ancho de los pies, que se ha decidido caracterizar como tres veces el ancho de un pie (252 mm). Además, se considera que entre los dos pies hay una zona del ancho de un pie (84 mm) de ancho constante hasta la posición del tobillo (100 mm) y desde allí de forma triangular que termina en el punto medio de la cintura.

Considerando las variaciones introducidas por la ropa y redondeando los valores se obtienen las siguientes dimensiones:

- Longitud total: 1500 mm (se han añadido 20 mm de zapatos y 50 mm del casco).
- Ancho total: 410 mm (se han añadido 40 mm por postura y ropa).
- Ancho caderas: 320 mm (se ha redondeado).
- Ancho pies: 260 mm (se ha redondeado al centímetro más próximo).
- Situación mano: 780 mm del extremo superior.
- Altura tobillo: 100 mm (valor estimado).

Teniendo definida la proyección en planta del espacio ocupado por el piloto se procede a determinar la proyección lateral de dicho espacio. Para ello comienza determinando la altura del extremo superior de la cabeza,

$$H = 90\text{mm} + (2. - 4.) = 90\text{mm} + (1525\text{mm} - 1256\text{mm}) = 359\text{mm}, \text{ Ecuación Anexo II. 3}$$

donde,

H es la altura del extremo superior del volumen ocupado por el piloto.

2. Estatura (altura del cuerpo) (Tabla 8.1).

4. Altura de los hombros (Tabla 8.1).

Se ha decidido utilizar 90 mm como distancia a añadir a la obtenida del extremo superior de la cabeza a los hombros debido a que se ha estimado en base a una medida realizada sobre el autor del documento. A fin de tener correctamente definida la superficie lateral de la cabeza se considera la longitud de la cabeza que es de 173 mm más el casco. El siguiente punto más alto del cuerpo del piloto será el extremo de los pies, tomando un valor de 221 mm que es la longitud del pie.

Con respecto al cuerpo del piloto se considera que la cota superior del mismo es el espesor del pecho (208 mm), valor medido en el punto medio del esternón según se indica en la página 142 del estudio realizado por el Dr. Carmona [16], lo que implica no tener en cuenta el pecho de las mujeres. Como el espesor del pecho no es una cota fundamental en la definición del habitáculo no se realiza ninguna estimación del incremento de esta cota. Por ello, se considera que el espesor del pecho es constante durante toda la caja torácica del piloto salvo al comienzo de esta donde crece desde el espesor de los hombros. El inicio de esta zona plana se considera a los 230 mm del extremo superior del cuerpo y el final a los 430 mm. Desde este punto se reduce dicha cota de forma lineal hasta los 168 mm del espesor abdominal. Donde continúa descendiendo hasta la altura del tobillo estimada en 80 mm y situado a 100 mm de la planta del pie.

También en la zona de la cabeza la cota pasa del espesor del pecho (208 mm) a la estimación del espesor de los hombros (90 mm).

Para los brazos se considera que su altura varía desde la de la mano (72 mm) hasta la profundidad de los hombros (90mm).

Por último, para tener completamente definidos los pies del piloto se asume un espesor de los mismos de 50 mm ya que hay que tener en cuenta el movimiento de los pies durante la carrera.

Como se realizó con las dimensiones que definen la superficie ocupada por el piloto, teniendo en cuenta las variaciones introducidas por la ropa y redondeando los valores se obtienen los siguientes valores:

- Altura total: 410 mm (se han añadido 50 mm por el casco y se ha redondeado).
- Espesor pecho: 210 mm (se ha redondeado).
- Espesor abdomen: 170 mm (se ha redondeado).
- Profundidad hombros: 90 mm (valor estimado).
- Altura en los pies: 240 mm (se han añadido 15 mm de los zapatos y se ha redondeado).
- Longitud cabeza: 280 mm (se han añadido dos veces 50 mm por el casco y se ha redondeado).
- Ancho de la mano: 80 mm (se ha redondeado considerando el incremento por el uso de guantes).
- Espesor de los pies: 50 mm (valor estimado).
- Espesor tobillo: 80 mm (valor estimado).

Para completar la definición del espacio ocupado por el piloto se procede a determinar la proyección frontal del piloto al no estar completamente definida la cabeza del piloto con las dos proyecciones anteriores. La medida que falta es el ancho de la cabeza que se obtiene de la Tabla 8.1 con un valor de 132 mm. Teniendo en cuenta el casco y redondeando el valor final se obtiene que el ancho de la cabeza del piloto con casco es de 240 mm (dos veces 50 mm del casco).

Anexo III: Determinación de los pesos de las distintas partes del piloto.

Para la determinación de los pesos correspondientes a las distintas partes del peso del piloto se emplean los datos de la Tabla 8.3, que presentan la estructura de la Ecuación Anexo III. 1.

$$P_i = f_i \cdot P_t, \quad \text{Ecuación Anexo III. 1}$$

siendo,

P_i el peso del segmento i del cuerpo del piloto.

f_i el factor de proporcionalidad entre el peso del segmento i y el peso total del piloto.

P_t el peso total del piloto.

Empezando por el peso de la mano se obtiene de la Tabla 8.3 que el factor de proporcionalidad para la mano (f_{ma}) es de 0,006, luego particularizando la Ecuación Anexo III. 1 resulta:

$$P_{ma} = f_{ma} \cdot P_t = 0,006 \cdot 510 N = 3,06 N, \quad \text{Ecuación Anexo III. 2}$$

donde,

P_{ma} es el peso de la mano del piloto.

f_{ma} es el factor de proporcionalidad entre el peso de la mano y el peso total del piloto.

P_t es el peso total del piloto.

Para el peso del antebrazo el factor de proporcionalidad (f_{ab}) recogido en la Tabla 8.3 es de 0,016 con lo que aplicando la Ecuación Anexo III. 1,

$$P_{ab} = f_{ab} \cdot P_t = 0,016 \cdot 510 N = 8,16 N, \quad \text{Ecuación Anexo III. 3}$$

siendo,

P_{ab} el peso del antebrazo del piloto.

f_{ab} el factor de proporcionalidad entre el peso del antebrazo y el peso total del piloto.

P_t el peso total del piloto.

En el caso del brazo, el factor de proporcionalidad (f_b) es de 0,028 con lo que el peso del brazo se obtiene de la Ecuación Anexo III. 4:

$$P_b = f_b \cdot P_t = 0,028 \cdot 510 N = 14,28 N, \quad \text{Ecuación Anexo III. 4}$$

donde,

P_b es el peso del brazo del piloto.

f_b es el factor de proporcionalidad entre el peso del brazo y el peso total del piloto.

P_t es el peso total del piloto.

Una vez determinados los pesos de los miembros superiores se procede a determinar los pesos de los miembros inferiores empezando también por el extremo de los mismos. De la Tabla 8.3 se obtiene que el factor de proporcionalidad (f_{pie}) es de 0,0145 con lo que,

$$P_{pie} = f_{pie} \cdot P_t = 0,0145 \cdot 510 N = 7,395 N, \quad \text{Ecuación Anexo III. 5}$$

siendo,

P_{pie} el peso del pie del piloto.

f_{pie} el factor de proporcionalidad entre el peso del pie y el peso total del piloto.

P_t el peso total del piloto.

En el caso del peso de la pierna el factor de proporcionalidad (f_p) es de 0,0465 con lo que la Ecuación Anexo III. 1 queda particularizada de la siguiente forma:

$$P_p = f_p \cdot P_t = 0,0465 \cdot 510 N = 23,715 N, \quad \text{Ecuación Anexo III. 6}$$

donde,

P_p es el peso de la pierna del piloto.

f_p es el factor de proporcionalidad entre el peso de la pierna y el peso total del piloto.

P_t es el peso total del piloto.

Para el peso del muslo, el factor de proporcionalidad (f_{mus}) según la Tabla 8.3 es de 0,100. Luego

$$P_{mus} = f_{mus} \cdot P_t = 0,100 \cdot 510 N = 51,0 N, \quad \text{Ecuación Anexo III. 7}$$

siendo,

P_{mus} el peso del muslo del piloto.

f_{mus} el factor de proporcionalidad entre el peso del muslo y el peso total del piloto.

P_t el peso total del piloto.

El peso de la siguiente parte del cuerpo que se va a calcular, es el de la cabeza y el cuello, siendo el factor de proporcionalidad (f_{cc}) de 0,081 según la Tabla 8.3

$$P_{cc} = f_{cc} \cdot P_t = 0,081 \cdot 510 N = 41,31 N, \quad \text{Ecuación Anexo III. 8}$$

donde,

P_{cc} es el peso de la cabeza y el cuello del piloto.

f_{cc} es el factor de proporcionalidad entre el peso de la cabeza y el cuello del piloto y el peso total del mismo.

P_t es el peso total del piloto.

Finalmente de la Tabla 8.3 se obtiene que el factor de proporcionalidad para el peso del tronco del piloto (f_{tr}) es de 0,497.

$$P_{tr} = f_{tr} \cdot P_t = 0,497 \cdot 510 N = 253,47 N, \quad \text{Ecuación Anexo III. 9}$$

siendo,

P_{tr} el peso del tronco del piloto.

f_{tr} el factor de proporcionalidad entre el peso del tronco y el peso total del piloto.

P_t el peso total del piloto.

A fin de determinar más exactamente el peso real del piloto cuando esté conduciendo el prototipo hay que añadir a los valores previamente calculados la masa de toda la equipación que según normativa debe llevar el piloto. En base a datos obtenidos de fabricantes de ropa y accesorios de competición se estima la masa del casco en 1,5 kg, la masa del mono se estima en 500 g en base a una densidad de materiales de 400 g/m² y en el caso de los zapatos se estima que la masa de cada uno es de 300g.

Por tanto, como de la Ecuación Anexo III. 8 se obtiene que el peso de la cabeza y el cuello es de 41,31 N y la masa del casco se estima en 1,5 kg. Entonces,

$$P_{cct} = P_{cc} + P_{casco} = 41,31 N + 15 N = 56,31 N, \quad \text{Ecuación Anexo III. 10}$$

donde,

P_{cc} es el peso de la cabeza y el cuello del piloto.

P_{casco} es el peso estimado del casco.

P_{cct} es el peso estimado de la cabeza del piloto con la equipación que llevará en la prueba.

Redondeando el resultado de la Ecuación Anexo III. 10 al entero superior se obtiene que el peso a considerar de la cabeza del piloto en las condiciones de conducción es de 57 N.

El peso del pie considerando la equipación del piloto se obtiene de la suma del peso del pie obtenido en la Ecuación Anexo III. 5 y el peso estimado de un zapato, es decir,

$$P_{piet} = P_{pie} + P_{zapato} = 7,395 N + 3 N = 10,395 N, \quad \text{Ecuación Anexo III. 11}$$

siendo,

P_{pie} el peso del pie del piloto.

P_{zapato} el peso estimado de un zapato de competición.

P_{piet} el peso estimado del pie del piloto con la equipación que llevará en la prueba.

Redondeando el valor obtenido en la Ecuación Anexo III. 11 al entero superior se obtiene que el peso estimado del pie en las condiciones de carrera es de 11 N.

Para la estimación del peso de la pierna con la equipación se considera que a la pierna le corresponde un décimo de la masa del mono, entonces:

$$P_{piernat} = P_{pierna} + \frac{P_{mono}}{10} = 23,715N + \frac{5N}{10} = 24,215N, \quad \text{Ecuación Anexo III. 12}$$

donde,

P_{pierna} es el peso de la pierna del piloto.

P_{mono} es el peso estimado del mono del piloto.

$P_{piernat}$ es el peso estimado de la pierna del piloto con la equipación que llevará en la prueba.

A fin de trabajar con unos valores más manejables, se redondea el valor obtenido al entero superior obteniéndose un valor de 25 N.

Para la estimación del peso del muslo con la equipación completa se considera que al muslo como a la pierna le corresponde un décimo de la masa del mono. Entonces,

$$P_{must} = P_{mus} + \frac{P_{mono}}{10} = 51,0N + \frac{5N}{10} = 51,5N, \quad \text{Ecuación Anexo III. 13}$$

siendo,

P_{mus} el peso del muslo del piloto.

P_{mono} el peso estimado de un mono de competición.

P_{must} el peso estimado del muslo del piloto con la equipación que llevará en la prueba.

Redondeando al entero más próximo se obtiene un valor de 52 N para el muslo del piloto con la equipación.

En el caso de la mano del piloto hay que estimar el peso de un guante de competición, al no haberse encontrado datos de referencia se estima que pesa una centésima parte de la masa del mono con lo que el valor del peso de la mano es:

$$P_{mat} = P_{ma} + \frac{P_{mono}}{100} = 3,06N + \frac{5N}{100} = 3,11N, \text{ Ecuación Anexo III. 14}$$

donde,

P_{ma} es el peso de la mano del piloto.

P_{mono} es el peso estimado del mono del piloto.

P_{mat} es el peso estimado de la mano del piloto con la equipación que llevará en la prueba.

Como el incremento de peso de la mano no es muy grande se redondea el peso a 3,5 N en vez de a 4 N para evitar sobre dimensionar el peso de esta parte del cuerpo.

Para estimar el peso del antebrazo con toda la equipación se considera que al antebrazo le corresponde una veinteava parte de la masa del mono con lo que el peso resultante es,

$$P_{abt} = P_{ab} + \frac{P_{mono}}{20} = 8,16N + \frac{5N}{20} = 8,41N, \text{ Ecuación Anexo III. 15}$$

siendo,

P_{ab} el peso del antebrazo del piloto.

P_{mono} el peso estimado de un mono de competición.

P_{abt} el peso estimado del antebrazo del piloto con la equipación que llevará en la prueba

Redondeando al entero posterior se obtiene que el peso del antebrazo con la equipación completa se puede estimar en 9N.

Para el brazo se toma la misma consideración obteniéndose un peso,

$$P_{bt} = P_b + \frac{P_{mono}}{20} = 14,28N + \frac{5N}{20} = 14,53N, \text{ Ecuación Anexo III. 16}$$

donde,

P_b es el peso del brazo del piloto.

P_{mono} es el peso estimado del mono del piloto.

P_{bt} es el peso estimado del brazo del piloto con la equipación que llevará en la prueba.

Aplicando el mismo proceso de redondeo que al resto de medidas se tiene que el peso del brazo con la equipación completa se puede estimar en 15 N.

Y por último, para la estimación del peso del tronco con la equipación completa se considera que hay que añadir al peso obtenido en la Ecuación Anexo III. 9 dos quintas partes del peso del mono de competición con lo que,

$$P_{trt} = P_{tr} + \frac{2 \cdot P_{mono}}{5} = 253,47 N + \frac{2 \cdot 5 N}{5} = 255,47 N, \quad \text{Ecuación Anexo III. 17}$$

siendo,

P_{tr} el peso del tronco del piloto.

P_{mono} el peso estimado de un mono de competición.

P_{trt} el peso estimado del tronco del piloto con la equipación que llevará en la prueba

Redondeando resulta un valor de 256 N que junto al resto de datos se recoge en la Tabla 8.4.

Anexo IV: Determinación de los centros de gravedad de las partes del piloto.

Para la obtención de los centros de gravedad de las partes del piloto recogidas junto a sus pesos en la Tabla 8.4, se emplean los datos antropométricos recogidos en la Tabla 8.1 y el volumen ocupado por el piloto calculado en el Anexo II y recogido en la Tabla 8.2.

Considerando la definición del área ocupada por el piloto, al tomarse como referencia el alcance máximo con el puño cerrado se considera un espesor del puño de 20 mm con lo que el centro de gravedad de la mano en el eje longitudinal del piloto se sitúa a una distancia de 760 mm de la referencia. Luego la posición en el eje transversal al piloto es, en base a la definición del área ocupada por el piloto y el espesor del puño, de 185 mm obtenido como la diferencia entre la mitad del ancho total del piloto y el espesor del puño. Por último, la altura del centro de gravedad de la mano se considera en la mitad del ancho de la palma de la mano, al considerarse que con la equipación son 80 mm el valor buscado es de 40 mm.

En base a las medidas 25. (longitud de la mano) y 42. (longitud codo-punta de los dedos) de la Tabla 8.1, la situación de la coordenada longitudinal del centro de gravedad del antebrazo con respecto al codo es de 116,5 mm. Considerando la medida 40. de dicha tabla y las dimensiones empleadas a la hora de determinar el área ocupada por el piloto, la distancia al punto de referencia es de 564,5 mm. La cota transversal se considera de 185 mm como en el caso de la mano y para la

determinación de la altura del centro de gravedad se considera que el espesor del brazo es de 80 mm, como la mano, resultando el valor buscado en 40 mm.

Empleando las medidas 4. (altura de los hombros) y 5. (altura del codo) de la Tabla 8.1 se obtiene la distancia de la coordenada longitudinal del centro de gravedad del brazo al hombro, siendo este valor de 162 mm, y desde el punto de referencia la cota toma el valor de 335 mm. Por simplicidad se considera que las otras dos cotas son iguales que en el caso de la mano.

En el caso del pie, al no disponerse de valores que permitan determinar la cota longitudinal de su centro de gravedad se ha optado por estimarla con un valor de 1450 mm. Para la cota transversal se considera la medida 31. (anchura del pie) de la Tabla 8.1 obteniéndose que el centro de gravedad del pie en la dirección transversal está situado a 42 mm del borde interior del pie, luego toma un valor de 84 mm.

Finalmente la altura del centro de gravedad del pie se estima como un poco por debajo de la mitad de la altura del pie con zapato (240 mm) resultando un valor de 110 mm con respecto a la referencia.

A fin de determinar las coordenadas del centro de gravedad de la pierna, se considera para el eje longitudinal la medida 7. (altura de la tibia) de la Tabla 8.1, resultando un valor de 199 mm con respecto al extremo de los pies del piloto. Que se corresponde con una distancia de 1301 mm respecto al punto de referencia. Para la distancia transversal se estima que la posición del centro de gravedad es la misma que para el pie, es decir, 84 mm. Y la altura del centro de gravedad de la pierna se estima en 60 mm.

Para determinar la situación del centro de gravedad en el muslo se han empleado las medidas 20. (anchura de caderas, sentado), 22. (espesor del muslo, sentado) y 43. (profundidad asiento) de la Tabla 8.1. Para la cota longitudinal se obtiene un valor de 225 mm de la rodilla que resulta un valor de 877 mm con respecto al punto de referencia. Para la cota transversal se estima su valor en una cuarta parte del ancho de las caderas redondeado (320 mm), es decir, 80 mm. Y para la altura se obtiene un valor de 56 mm.

En el caso de la cabeza y el cuello, se han considerado las medidas 2. (estatura), 4. (altura de los hombros) y 32. (longitud cabeza) de la Tabla 8.1. La cota transversal es nula, al estar la cabeza centrada con respecto al cuerpo. La cota longitudinal toma un valor de 86,5 mm. Y la altura del centro de gravedad es de 275,5 mm.

Por ultimo, para la determinación del centro de gravedad del tronco se han empleado las medidas 4. (altura de los hombros), 6. (altura de la espina ilíaca) y 8. (espesor del pecho, de pie) de la Tabla 8.1. Como en el caso de la cabeza y el cuello, no existe cota transversal al estar el tronco centrado con respecto al cuerpo del piloto. La distancia longitudinal del centro de gravedad a los hombros es de 207 mm, y con respecto al punto de referencia es de 380 mm. La altura del centro de gravedad resulta ser de 104 mm.

Tomando el origen en el punto medio del extremo superior del piloto a la altura del piso del prototipo se obtienen las dimensiones recogidas en la Tabla 8.5.

Anexo V: *Análisis de estabilidad longitudinal del prototipo.*

La estabilidad longitudinal del prototipo solo se ve afectada en las situaciones de arrancada y frenada. Al ser un vehículo con dos ruedas delanteras y una trasera en el cual el centro de gravedad no está situado exactamente en su eje longitudinal, como se aprecia en la Tabla 8.8, en la situación de frenado el eje de vuelco coincidirá con la línea que une las huellas de contacto de las dos ruedas delanteras, mientras que en la situación de aceleración la línea de vuelco corresponde a la línea que une la huella de la rueda delantera derecha con la huella de la rueda trasera.

Estabilidad en frenado: Si el prototipo realizase una frenada lo suficientemente brusca tendería a hocar, para determinar que deceleración provocaría dicha situación de inestabilidad se realiza un equilibrio de momentos con respecto a la línea de vuelco, siendo el momento estabilizador el correspondiente al peso del prototipo, Ecuación Anexo V. 1, y el momento desestabilizador el correspondiente a la inercia del vehículo, Ecuación Anexo V. 2.

$$M_e = m_t \cdot g \cdot d_v, \quad \text{Ecuación Anexo V. 1}$$

donde,

M_e el momento estabilizador.

m_t la masa total del prototipo.

g la aceleración de la gravedad.

d_v la distancia de vuelco, es decir, la distancia entre la línea de vuelco y el centro de gravedad.

$$M_d = m_t \cdot a_f \cdot z_{cdg}, \quad \text{Ecuación Anexo V. 2}$$

siendo,

M_d el momento desestabilizador.

m_t la masa total del prototipo.

a_f la deceleración del vehículo.

z_{cdg} la altura del centro de gravedad del prototipo.

En el instante en que el momento estabilizador es igualado por el momento desestabilizador el vehículo se encuentra al borde de la inestabilidad, correspondiendo la deceleración del momento desestabilizador a la deceleración límite de vuelco (a_{flv}). Por tanto, igualando los momentos y despejando la deceleración límite de vuelco se llega a la Ecuación Anexo V. 3.

$$a_{flv} = \frac{g \cdot d_v}{z_{cdg}} \quad \text{Ecuación Anexo V. 3}$$

donde,

g la aceleración de la gravedad.

d_v la distancia de vuelco.

a_{flv} la deceleración límite de vuelco.

z_{cdg} la altura del centro de gravedad del prototipo.

Quedando por determinar la distancia de vuelco que se corresponde a la mínima distancia perpendicular de la línea de vuelco al centro de gravedad del prototipo. Al ser la línea de vuelco la línea que une las huellas de las dos ruedas delanteras y por tanto, perpendicular a la dimensión longitudinal del prototipo, la distancia buscada se mide en la dirección longitudinal. Además al estar situado el origen de coordenadas en el punto de contacto de la rueda trasera la dimensión buscada se obtiene aplicando la Ecuación Anexo V. 4.

$$d_v = Batalla - x_{cdg} \quad \text{Ecuación Anexo V. 4}$$

siendo,

d_v la distancia de vuelco.

Batalla la batalla del prototipo.

x_{cdg} la cota longitudinal del centro de gravedad del prototipo.

Teniendo en cuenta que la aceleración de la gravedad es de $9,8 \text{ m/s}^2$, que la batalla del prototipo es de 1200 mm, que la cota longitudinal del centro de gravedad es de 274,38 mm y que la altura del centro de gravedad es de 389,3 mm se obtiene de la Ecuación Anexo V. 3 y de la Ecuación Anexo V. 4 que la deceleración límite de vuelco es de $6,91 \text{ m/s}^2$.

Estabilidad en aceleración: El prototipo en caso de realizar una aceleración muy brusca tenderá a inclinarse hacia atrás, pero al disponer de una sola rueda trasera y no estar el centro de gravedad completamente centrado el prototipo se inclinará hacia el lado en que esté desplazado el centro de gravedad. Por tanto, la línea de vuelco une la rueda trasera con la rueda delantera derecha. Haciendo equilibrio de momentos sobre la línea de vuelco se obtiene que el momento estabilizador es el correspondiente al peso del vehículo, Ecuación Anexo V. 5, y el momento desestabilizador es el correspondiente a la inercia, Ecuación Anexo V. 6, teniendo en cuenta que solo provoca momento la componente de la inercia perpendicular a la línea de vuelco.

$$M_e = m_t \cdot g \cdot d_v, \quad \text{Ecuación Anexo V. 5}$$

donde,

M_e el momento estabilizador.

m_t la masa total del prototipo.

g la aceleración de la gravedad.

d_v la distancia de vuelco, es decir, la mínima distancia entre la línea de vuelco y el centro de gravedad.

$$M_d = m_t \cdot a_a \cdot \text{sen } \alpha \cdot z_{cdg}, \quad \text{Ecuación Anexo V. 6}$$

siendo,

M_d el momento desestabilizador.

m_t la masa total del prototipo.

a_a la aceleración del vehículo.

α el ángulo formado por la línea de vuelco y el eje longitudinal del prototipo.

z_{cdg} la altura del centro de gravedad del prototipo.

Ambos momentos son iguales en el momento en que la aceleración alcanza el valor de la aceleración límite de vuelco (a_{lv}). Por tanto, igualando ambos momentos y despejando la aceleración se obtiene la Ecuación Anexo V. 7.

$$a_{lv} = \frac{g \cdot d_v}{\text{sen} \alpha \cdot z_{cdg}} \quad \text{Ecuación Anexo V. 7}$$

donde,

g la aceleración de la gravedad.

d_v la distancia de vuelco.

a_{lv} la deceleración límite de vuelco.

α el ángulo formado por la línea de vuelco y el eje longitudinal del prototipo.

z_{cdg} la altura del centro de gravedad del prototipo.

Para la obtención del valor del ángulo α se tiene en cuenta que el triángulo rectángulo cuya hipotenusa une la rueda delantera derecha con la rueda trasera y sus catetos corresponden con la batalla y la mitad de la vía del prototipo permite obtener el valor de α al ser este el menor ángulo de dicho triángulo. Por tanto, la tangente de α es el cociente entre la semi vía, cateto opuesto, y la batalla, cateto contiguo, como se recoge en la Ecuación Anexo V. 8.

$$\text{tg} \alpha = \frac{\frac{1}{2} Vía}{Batalla} \quad \text{Ecuación Anexo V. 8}$$

siendo,

α el ángulo formado por la línea de vuelco y el eje longitudinal del prototipo.

$Vía$ la distancia entre los puntos medios de las zonas de contacto con la calzada de las ruedas delanteras.

$Batalla$ la batalla del prototipo.

Finalmente para la obtención de la distancia de vuelco hay que realizar una serie de construcciones geométricas al estar el centro de gravedad desplazado del eje longitudinal del vehículo. La primera de ellas es la definición del ángulo β que es el menor ángulo del triángulo rectángulo formado por las coordenadas x e y del centro de gravedad, y la recta que une el centro de gravedad con el origen. La segunda construcción geométrica es el triángulo rectángulo cuyos vértices son el origen, el centro de gravedad y el punto en el que la distancia de vuelco es perpendicular a la línea de vuelco. Al compartir como hipotenusa los dos triángulos definidos la línea que une el origen con el centro de gravedad y ser la suma de sus ángulos en el origen el ángulo α previamente definido se obtiene:

$$d_v = \text{sen}(\alpha - \beta) \cdot L_{cdg} \quad \text{Ecuación Anexo V. 9}$$

donde,

d_v es la distancia de vuelco.

α es el ángulo formado por la línea de vuelco y el eje longitudinal del prototipo.

β es el ángulo formado por el centro de gravedad y el eje longitudinal del prototipo.

L_{cdg} es la distancia en el plano horizontal del origen al centro de gravedad.

Recordando la relación trigonométrica que se recoge en la Ecuación Anexo V. 10,

$$\text{sen}(\alpha - \beta) = \text{sen} \alpha \cdot \cos \beta - \text{sen} \beta \cdot \cos \alpha \quad \text{Ecuación Anexo V. 10}$$

que el seno y el coseno del ángulo β se obtienen de las siguientes ecuaciones.

$$\text{sen}(\beta) = \frac{y_{cdg}}{L_{cdg}} \quad \text{Ecuación Anexo V. 11}$$

$$\cos(\beta) = \frac{x_{cdg}}{L_{cdg}} \quad \text{Ecuación Anexo V. 12}$$

siendo,

β el ángulo formado por el centro de gravedad y el eje longitudinal del prototipo.

L_{cdg} la distancia en el plano horizontal del origen al centro de gravedad.

x_{cdg} la cota longitudinal del centro de gravedad del prototipo.

y_{cdg} la cota transversal del centro de gravedad del prototipo.

Sustituyendo la Ecuación Anexo V. 11 y la Ecuación Anexo V. 12 en la Ecuación Anexo V. 10 se obtiene la Ecuación Anexo V. 13.

$$L_{cdg} \cdot \text{sen}(\alpha - \beta) = \text{sen}(\alpha) \cdot x_{cdg} - \cos(\alpha) \cdot y_{cdg} \quad \text{Ecuación Anexo V. 13}$$

donde,

α es el ángulo formado por la línea de vuelco y el eje longitudinal del prototipo.

β el ángulo formado por el centro de gravedad y el eje longitudinal del prototipo.

L_{cdg} la distancia en el plano horizontal del origen al centro de gravedad.

x_{cdg} la cota longitudinal del centro de gravedad del prototipo.

y_{cdg} la cota transversal del centro de gravedad del prototipo.

Por tanto, de la Ecuación Anexo V. 9 y de la Ecuación Anexo V. 13 se obtiene,

$$d_v = \text{sen}(\alpha) \cdot x_{cdg} - \cos(\alpha) \cdot y_{cdg} \quad \text{Ecuación Anexo V. 14}$$

y operando se llega a la Ecuación Anexo V. 15.

$$d_v = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\frac{1}{2}Via}{Batalla}\right)^2}} \cdot \left(\left(\frac{\frac{1}{2}Via}{Batalla}\right) x_{cdg} - y_{cdg} \right) \quad \text{Ecuación Anexo V. 15}$$

Sustituyendo en la Ecuación Anexo V. 15 la vía del prototipo de 700 mm, la batalla de 1200 mm, la coordenada longitudinal del centro de gravedad (925,6 mm) y la cota transversal del centro de gravedad se obtiene que la distancia de vuelco es de 257, 71 mm. Sustituyendo este valor en la Ecuación Anexo V. 7 junto al resto de parámetros resulta que la aceleración límite de vuelco es de 23,17 m/s².

Anexo VI: *Análisis de estabilidad lateral del prototipo.*

Al ser el razonamiento matemático independiente del sentido de giro de la curva se va a proceder a realizar todo el desarrollo de forma conjunta para ambos sentidos de giro particularizándose al determinar la distancia de vuelco.

En este caso, la línea de vuelco une la rueda delantera que va por el exterior de la curva con la rueda trasera. Calculando los momentos estabilizador, debido al peso del prototipo, y desestabilizador, debido a la componente perpendicular a la línea de vuelco de la inercia debida a la curva, se obtiene la Ecuación Anexo VI. 1 para el estabilizador y la Ecuación Anexo VI. 2 para el desestabilizador.

$$M_e = m_t \cdot g \cdot d_v, \quad \text{Ecuación Anexo VI. 1}$$

donde,

M_e el momento estabilizador.

m_t la masa total del prototipo.

g la aceleración de la gravedad.

d_v la distancia de vuelco, es decir, la mínima distancia entre la línea de vuelco y el centro de gravedad.

$$M_d = m_t \cdot \frac{V^2}{R} \cdot \cos \alpha \cdot z_{cdg}, \quad \text{Ecuación Anexo VI. 2}$$

siendo,

M_d el momento desestabilizador.

m_t la masa total del prototipo.

V la velocidad del vehículo.

R el radio de la curva.

α el ángulo formado por la línea de vuelco y el eje longitudinal del prototipo.

z_{cdg} la altura del centro de gravedad del prototipo.

La velocidad para un radio de curva fijo a la que se igualan ambos momentos, es la velocidad límite de vuelco (V_{lv}). Por tanto, igualando ambas ecuaciones y despejando la velocidad se obtiene la Ecuación Anexo VI. 3 que permite determinar la velocidad límite de vuelco para un radio de curva dado.

$$V_{lv} = \sqrt{\frac{R \cdot g \cdot d_v}{z_{cdg} \cdot \cos(\alpha)}} \quad \text{Ecuación Anexo VI. 3}$$

donde,

V_{lv} la velocidad límite de vuelco del vehículo.

R el radio de la curva.

g la aceleración de la gravedad.

d_v la distancia de vuelco, es decir, la mínima distancia entre la línea de vuelco y el centro de gravedad.

z_{cdg} la altura del centro de gravedad del prototipo.

α el ángulo formado por la línea de vuelco y el eje longitudinal del prototipo.

La obtención del ángulo α se realiza de la misma forma que en el anexo V empleando la Ecuación Anexo VI. 4.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{1}{2} Vía}{Batalla} \quad \text{Ecuación Anexo VI. 4}$$

siendo,

α el ángulo formado por la línea de vuelco y el eje longitudinal del prototipo.

$Vía$ la distancia entre los puntos medios de las zonas de contacto con la calzada de las ruedas delanteras.

$Batalla$ la batalla del prototipo.

Por ultimo, la distancia de vuelco en el caso de las curvas a izquierdas es la misma que la definida en el anexo V para la estabilidad en aceleración y que se recoge aquí en la Ecuación Anexo VI. 5.

$$d_v = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\frac{1}{2}Via}{Batalla}\right)^2}} \cdot \left(\left(\frac{\frac{1}{2}Via}{Batalla}\right) x_{cdg} - y_{cdg} \right) \quad \text{Ecuación Anexo VI. 5}$$

Y para las curvas a derechas la distancia de vuelco se obtiene de la Ecuación Anexo VI. 6

$$d_v = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\frac{1}{2}Via}{Batalla}\right)^2}} \cdot \left(\left(\frac{\frac{1}{2}Via}{Batalla}\right) x_{cdg} + y_{cdg} \right) \quad \text{Ecuación Anexo VI. 6}$$

En la que solo cambia el signo de y_{cdg} al ser el ángulo menor del triángulo de cateto d_v e hipotenusa L_{cdg} , $\alpha + \beta$ en vez de $\alpha - \beta$.

Anexo VII: Determinación de las cargas debidas al piloto y al asiento.

Anexo VII.1: Modelado en elementos finitos.

La determinación de las cargas que el asiento transmite a las distintas barras de la estructura se realiza en base a los resultados de los ensayos definidos en el trabajo dirigido *Caracterización del piloto y determinación de las cargas transmitidas por el asiento a la estructura de un prototipo destinado a participar en la Shell Eco-marathon Europe* [30]. Para ello, se han creado los modelos de los asientos correspondientes a las estructuras 1.0, 2.0 y 3.0 definidas en el presente documento, como se recoge en el apartado 6.2 del mencionado trabajo [30]. Siendo el material seleccionado para la fabricación de los asientos una matriz de resina epoxi reforzada con fibra de carbono con las propiedades mecánicas recogidas en la Tabla Anexo VII. 1.

Propiedades mecánicas del material compuesto	
E , módulo de Young (MPa)	230
ν , coeficiente de Poisson	0,3
ρ , densidad (kg / m^3)	1750

Tabla Anexo VII. 1. *Propiedades del material compuesto de fibra de carbono seleccionado.*

El elemento finito que se ha empleado en el mallado de los tres modelos de asiento ha sido, según se especifica en el trabajo dirigido, el elemento SHELL 93 de ocho nodos. Habiéndose realizado un mallado libre con elementos triangulares, al no ser posible emplear un mallado regular con cuadrados por la forma del asiento y la aplicación de las cargas del piloto. Empleando el elemento SHELL 93 se garantiza que los resultados obtenidos son validos.

Por otro lado, se considera que el espesor del asiento es de 2 mm.

Anexo VII.2: Ensayos

A cada uno de los modelos correspondientes a los asientos de las tres estructuras se le realizan tres ensayos:

Anexo VII.2.1. Ensayo I:

Se simula el asiento vacío a fin de determinar las tensiones que transmite este cuando no está sentado el piloto y cuyos resultados se emplean en los ensayos 2, 2b, 3, 3b, 4, 4b, 6, 6b, 9 y 9b del presente proyecto. Como se detalla en el apartado 7.2 del trabajo dirigido, en los asientos se restringe el desplazamiento vertical en las líneas de los modelos que corresponden con las barras de la estructura sobre la que se apoyan y coacciona el desplazamiento en los puntos de anclaje de la estructura al asiento, que se recogen en la Tabla Anexo VII. 2 para los asientos de las estructuras 1 y 2, y en la Tabla Anexo VII. 3 para el asiento de la estructura 3. Siendo la única carga a considerar la del peso propio del asiento debida a la acción de la gravedad.

Punto de anclaje	Coordenada longitudinal (mm)	Coordenada transversal (mm)	Coordenada vertical (mm)
1	1970	-90	345
2	1970	90	345
9	1200	-100	255
10	1200	100	255
15	385	-170	690
16	385	170	690

Tabla Anexo VII. 2. *Coordenadas de los puntos de anclaje del asiento a la estructura 1 y a la estructura 2.*

Punto de anclaje	Coordenada longitudinal (mm)	Coordenada transversal (mm)	Coordenada vertical (mm)
1	1970	-90	345
2	1970	90	345
9	1200	-95	245
10	1200	95	245
15	385	-170	690
16	385	170	690

Tabla Anexo VII. 3. *Coordenadas de los puntos de anclaje del asiento a la estructura 3.*

Anexo VII.2.2. Ensayo II:

Se simula el asiento con el piloto tumbado sobre él a fin de determinar las cargas que se transmiten a las barras de la estructura debidas al piloto y al asiento. Empleándose sus resultados en los ensayos 1 y 5 del presente proyecto. Siendo las restricciones las mismas que en el ensayo I,

que se recogen en la Tabla Anexo VII. 2 y en la Tabla Anexo VII. 3. Las cargas aplicadas son las debidas al efecto de la gravedad sobre el asiento junto con las cargas debidas al piloto. Recogiéndose dichas cargas independientes del asiento analizado en la Tabla Anexo VII. 4, indicándose en el trabajo dirigido las áreas sobre las que se aplican dichas cargas.

Región piloto	Presión (MPa)
Brazo (asiento)*	$1,508 \cdot 10^{-3}$
Brazo (respaldo)*	$3,091 \cdot 10^{-4}$
Pie	$2,371 \cdot 10^{-3}$
Pierna	$1,337 \cdot 10^{-3}$
Muslo	$2,002 \cdot 10^{-3}$
Cabeza y cuello (asiento)**	$2,811 \cdot 10^{-4}$
Cabeza y cuello (respaldo)**	$5,733 \cdot 10^{-5}$
Tronco (asiento)	$1,538 \cdot 10^{-4}$
Tronco (respaldo)	$3,153 \cdot 10^{-5}$

* Se corresponde con las cargas debidas a la mano, el brazo y el antebrazo que se han unido por simplificación de los cálculos.

** A las presiones de la Cabeza y el cuello se les ha añadido la presión correspondiente al Tronco al no ser posible introducir más de una presión por área en el programa ANSYS.

Tabla Anexo VII. 4. Cargas debidas al piloto para el ensayo II del asiento.

Anexo VII.2.3. Ensayo III:

Se simula el asiento con el piloto tumbado sobre él, todo ello situado en un plano inclinado a fin de simular el comportamiento del conjunto asiento-piloto en los ensayos 7 y 8 del presente proyecto, en los que se simula la prueba del sistema de frenado del prototipo. En este ensayo como en el caso de los ensayos 7 y 8 del presente proyecto, la inclinación de la estructura se ha realizado introduciendo las componentes de la gravedad que se recogen en la Tabla Anexo VII. 5.

Componente vertical (m/s^2)	Componente longitudinal (m/s^2)
9,62	1,92

Tabla Anexo VII. 5. Componentes de la fuerza de la gravedad para el ensayo III.

Aplicándose las mismas restricciones al desplazamiento que en los ensayos I y II, recogidas en la Tabla Anexo VII. 2 y en la Tabla Anexo VII. 3. Las cargas de este ensayo son las debidas al peso propio del asiento, teniendo en cuenta las componentes de la gravedad y las debidas al peso del piloto. En el caso del piloto se considera que se está del lado de la seguridad si se aplican las mismas presiones que en el ensayo II ya que realmente la componente vertical del peso irá directamente al asiento y la componente longitudinal se transmitirá a través de los soportes del cinturón de seguridad. Por tanto, las presiones aplicadas se recogen en la Tabla Anexo VII. 6, siendo las áreas sobre las que se aplican dichas cargas las mismas que en el ensayo II y que se indican en el trabajo dirigido.

Región piloto	Presión (MPa)
Brazo (asiento)*	$1,508 \cdot 10^{-3}$
Brazo (respaldo)*	$3,091 \cdot 10^{-4}$
Pie	$2,371 \cdot 10^{-3}$
Pierna	$1,337 \cdot 10^{-3}$
Muslo	$2,002 \cdot 10^{-3}$
Cabeza y cuello (asiento)**	$2,811 \cdot 10^{-4}$
Cabeza y cuello (respaldo)**	$5,733 \cdot 10^{-5}$
Tronco (asiento)	$1,538 \cdot 10^{-4}$
Tronco (respaldo)	$3,153 \cdot 10^{-5}$

* Se corresponde con las cargas debidas a la mano, el brazo y el antebrazo que se han unido por simplificación de los cálculos.

** A las presiones de la Cabeza y el cuello se les ha añadido la presión correspondiente al Tronco al no ser posible introducir más de una presión por área en el programa ANSYS.

Tabla Anexo VII. 6. Cargas debidas al piloto para el ensayo III del asiento.

Anexo VII.3: Procesado de los resultados de los ensayos.

Una vez realizados los ensayos descritos en el apartado anterior a fin de obtener unas cargas que aplicar a las estructuras de este proyecto, es necesario procesar las reacciones obtenidas de los análisis de elementos finitos. En ANSYS dichas reacciones viene detalladas por nodo, por tanto, el primer paso es asociar cada reacción con su línea o unión correspondiente.

En el caso de las cargas sobre regiones, tanto líneas como uniones, en las que el asiento se apoya simplemente sobre la estructura, el siguiente paso es eliminar las cargas negativas en la dirección vertical al no ser coherentes con el comportamiento real de la unión entre el asiento y la estructura.

En las líneas se procede a determinar una reacción media por línea al variar el número de nodos empleados en el modelo del asiento y en el modelo de la estructura. Omitiéndose los valores de los nodos de los extremos a fin de evitar singularidades.

Al ser el asiento, las cargas y las restricciones simétricas, se decide tomar como valor de cada reacción el valor medio de los obtenidos en las barras o en las uniones simétricas con respecto al eje longitudinal del asiento.

A continuación, en las barras se determina una presión por línea multiplicando la reacción media por línea por el número de nodos totales de la línea. Y finalmente conocido el número de nodos de cada barra en el modelo correspondiente de la estructura se determina la carga correspondiente por nodo.

Anexo VIII: Planos.

Las barras que componen la estructura definitiva se pueden clasificar en una serie de conjuntos de barras que se recogen en la Tabla Anexo VIII. 1.

Conjunto	Plano	Barras	Cantidad
Barra Frontal	2	Ø: 20 e: 1 mm	1
Eje	3	Ø: 20 mm e: 1 mm	1
Soporte eje	4	Ø: 20 mm e: 1 mm ; Ø: 30 mm e: 1 mm	2
Travesaño	5	Ø: 30 mm e: 1 mm	1
Arco de Seguridad Inferior	6	Ø: 7 mm e: 1 mm ; Ø: 20 mm e: 1 mm	1
Arco de Seguridad Superior	7	Ø: 30 mm e: 1 mm	1
Barra Extintor	8	Ø: 7 mm e: 1 mm	1
Larguero Superior	9	Ø: 30 mm e: 1 mm	2
Larguero Inferior	10	Ø: 20 mm e: 1 mm	2
Soporte Inferior Eje de Giro	11	Ø: 30 mm e: 7,5 mm	1
Refuerzo Barras Soporte Inferior Eje de Giro	12	Ø: 30 mm e: 1 mm	1
Soporte Superior Eje de Giro	13	Ø: 30 mm e: 1 mm ; e: 3 mm ; e: 7,5 mm	1
Refuerzos Longitudinales	14	Ø: 20 mm e: 1 mm	2
Barra Respaldo	15	Ø: 20 mm e: 1 mm	2

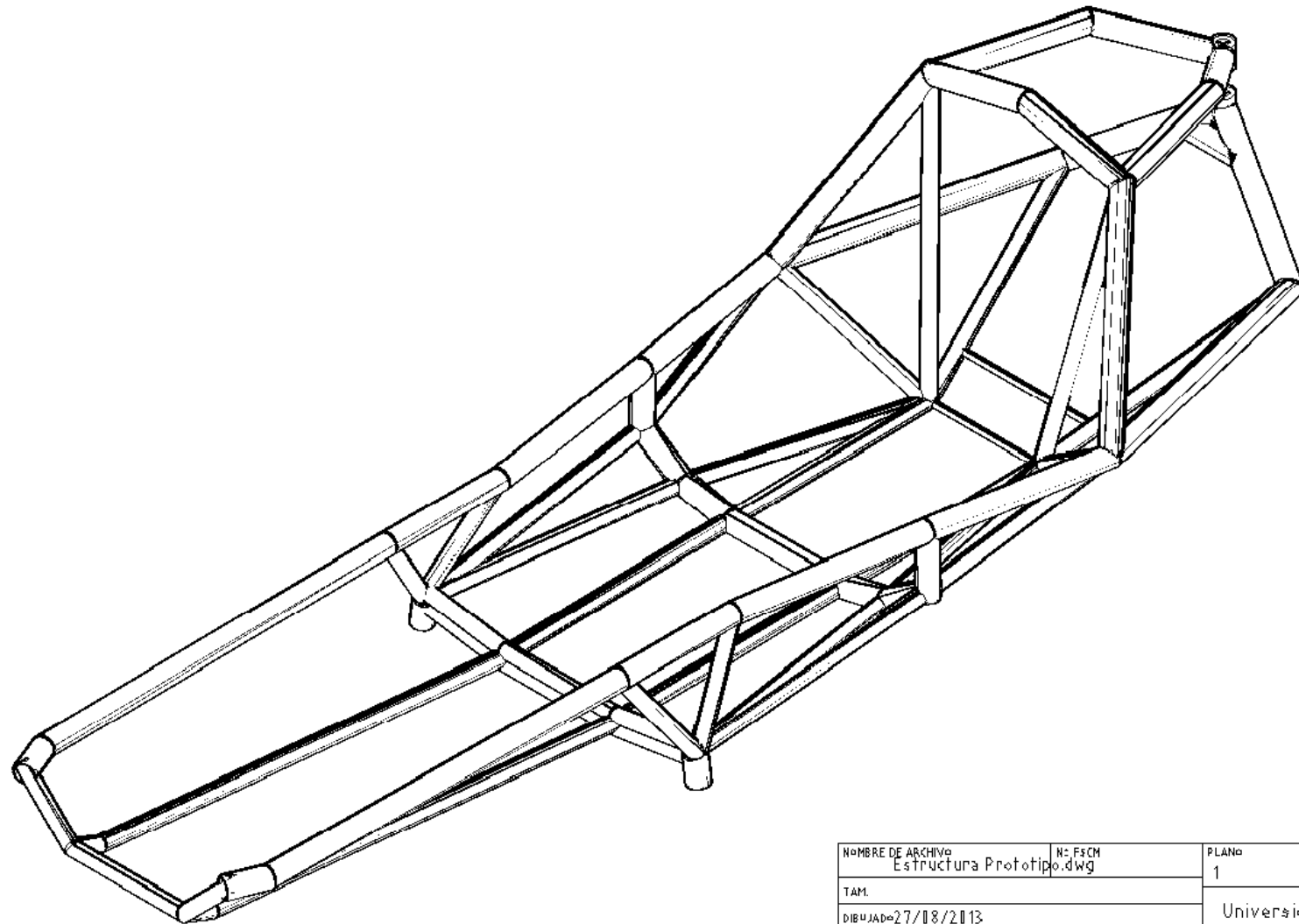
Tabla Anexo VIII. 1. *Conjuntos de barras que constituyen la estructura definitiva.*

A fin de definir completamente la estructura y cada barra, se realizan 15 planos de la estructura y de los conjuntos de barras anteriormente mencionados.

- **Plano 1: Plano Conjunto.** Representación isométrica de toda la estructura.
- **Plano 2: Barra Frontal.** Representación acotada de la barra frontal y de sus uniones.
- **Plano 3: Eje.** Representación acotada del eje del prototipo, mostrando la disposición de las barras que forman el eje y sus uniones.
- **Plano 4: Soporte Eje.** Representación acotada de uno de los dos soportes del eje (son simétricos) especificando los ángulos que forma con el eje y las distintas barras que lo componen.
- **Plano 5: Travesaño.** Representación acotada del travesaño y sus puntos de cambio de dirección.

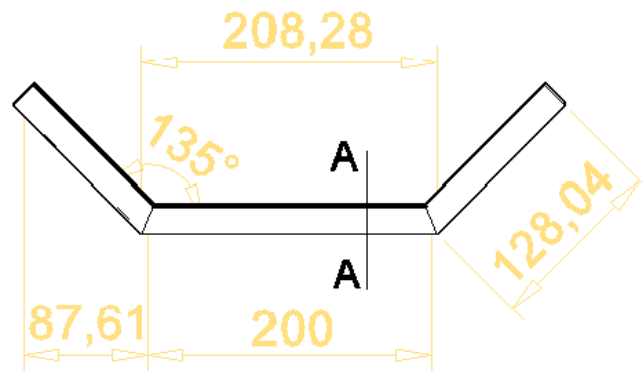
- **Plano 6: Arco Seguridad Inferior.** Representación acotada de las barras que componen el arco de seguridad inferior especificando el tamaño de cada una de ellas.
- **Plano 7: Arco Seguridad Superior.** Representación acotada del arco de seguridad superior y de sus cambios de dirección.
- **Plano 8: Barra Extintor.** Representación acotada de la barra del extintor
- **Plano 9: Larguero Superior.** Representación acotada del larguero superior izquierdo, el derecho es simétrico, y de sus cambios de dirección.
- **Plano 10: Larguero Inferior.** Representación acotada de las barras que componen el larguero inferior izquierdo, el derecho es simétrico, y de sus cambios de dirección.
- **Plano 11: Soporte Inferior Eje de Giro.** Representación acotada de las barras de la estructura que soportan el anclaje inferior del eje vertical de giro.
- **Plano 12: Refuerzo Barras Soporte Inferior Eje de Giro.** Representación acotada de la barra de refuerzo de las barras del plano 11.
- **Plano 13: Soporte Superior Eje de Giro.** Representación acotada de las barras de la estructura que soportan el anclaje superior del eje de giro.
- **Plano 14: Refuerzos Longitudinales.** Representación acotada de los refuerzos de la estructura situados entre el arco de seguridad y el eje.
- **Plano 15: Barra Respaldo.** Representación acotada de la barra izquierda, la derecha es simétrica, que soporta el peso del respaldo del asiento.

Nºrev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Compro- bado

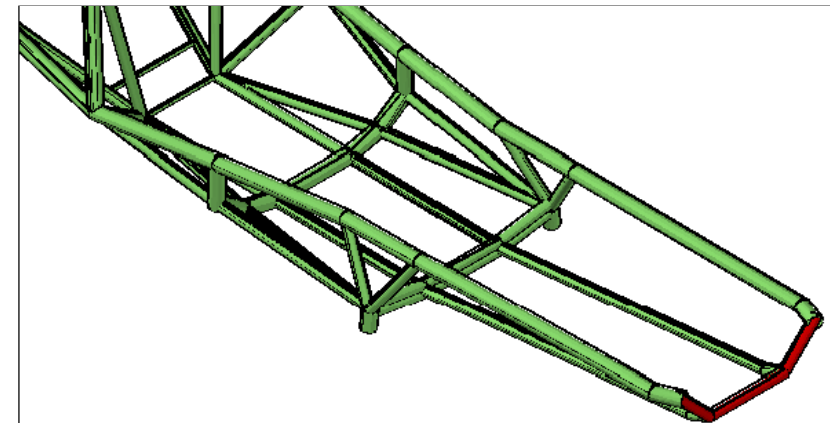
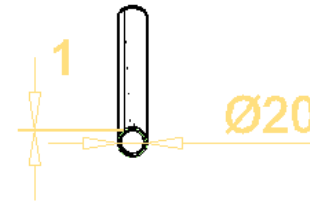


NOMBRE DE ARCHIVO Estructura Prototipo.dwg	Nº FSCH	PLANO 1	ESCALA 1:8
TAM.		Universidad Carlos III de Madrid	
DIBUJADO 27/08/2013		Plano Conjunto	
COMPROBAR		Shell Eco-marathon UC3M	
APROB.			
REALIZADO Ignacio J. Dufour García			
REV		Nº DIB	
CONTRATO Nº		1 - 15	

Nº rev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Comprobado

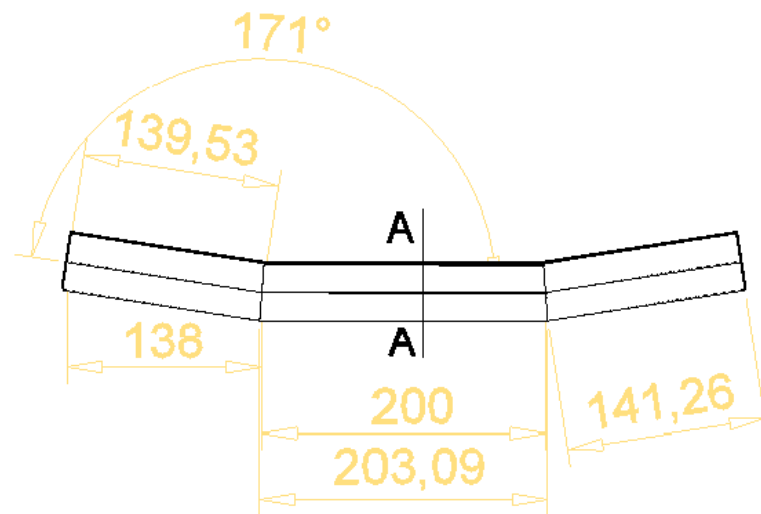


CORTE A-A

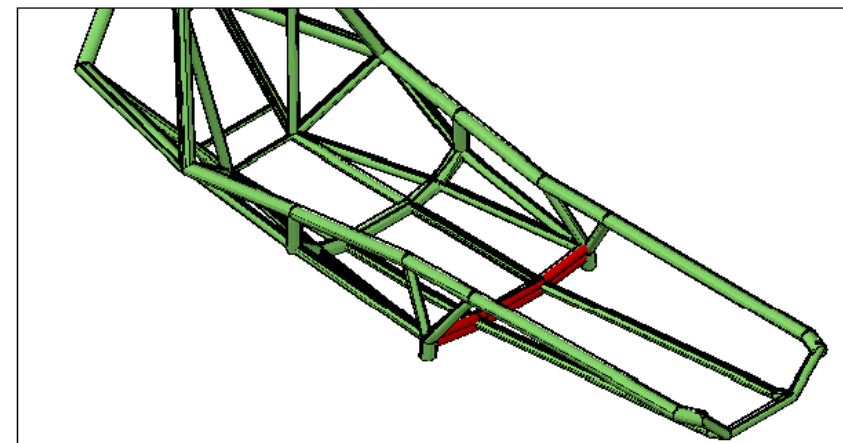
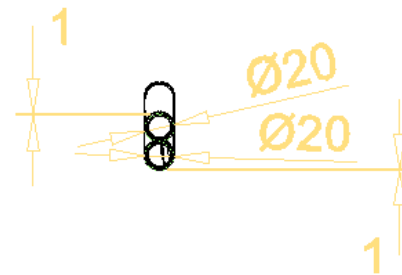


NOMBRE DE ARCHIVO Estructura Prototipo.dwg	Nº FSCM	PLANO 2	ESCALA 1:5
TAM.		Universidad Carlos III de Madrid	
DIBUJADO 27/08/2013			
COMPROBAR		Barra Frontal Shell Eco-marathon UC3M	
APROB.			
REALIZADO Ignacio J. Dufour García		Nº DIB 2-15	
REV			
CONTRATO Nº			

Nº rev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Comprobado

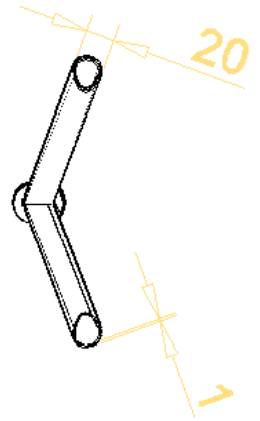
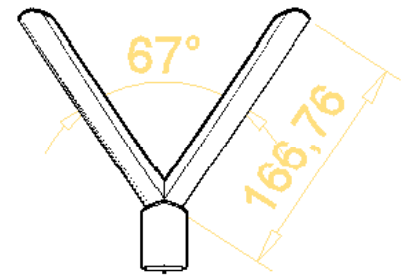
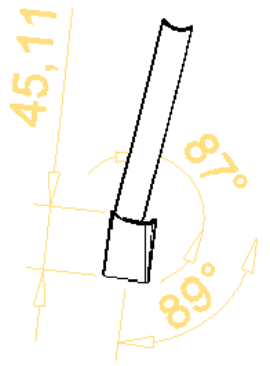
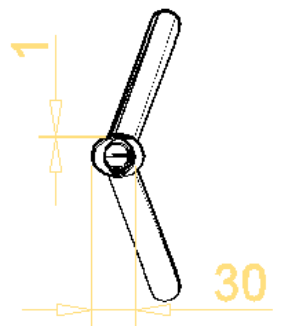
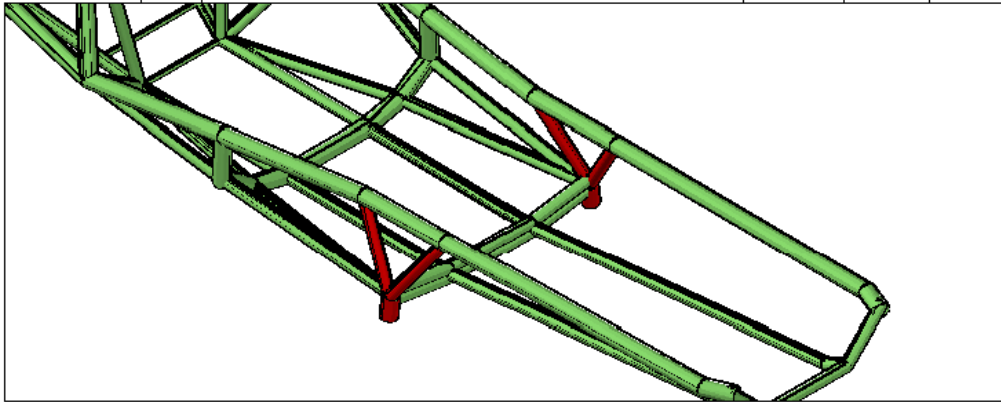


CORTE A-A



NOMBRE DE ARCHIVO Estructura Prototipo.dwg	Nº FSCM	PLANO 3	ESCALA 1:5
TAM.		Universidad Carlos III de Madrid	
DIBUJADO 27/08/2013		Eje	
COMPROBAR		Shell Eco-marathon UC3M	
APROB.		Nº DIB	
REALIZADO Ignacio J. Dufour García		3-15	
REV			
CONTRATO Nº			

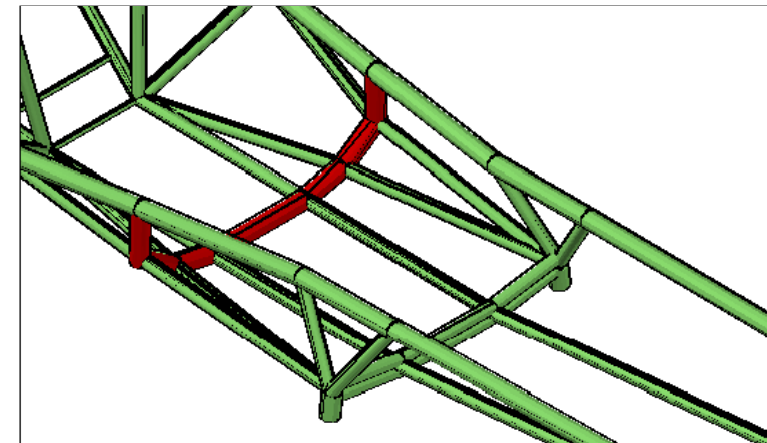
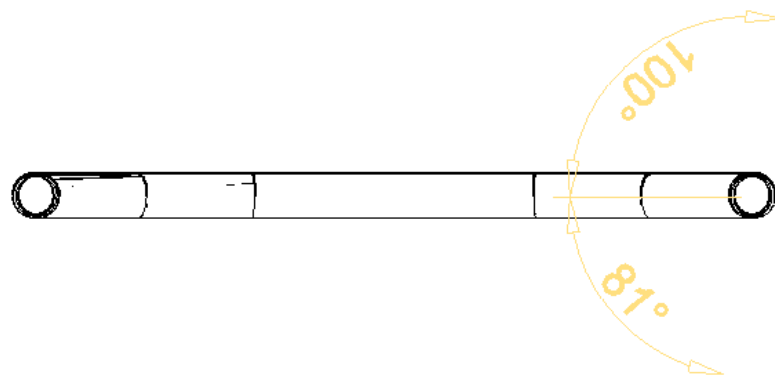
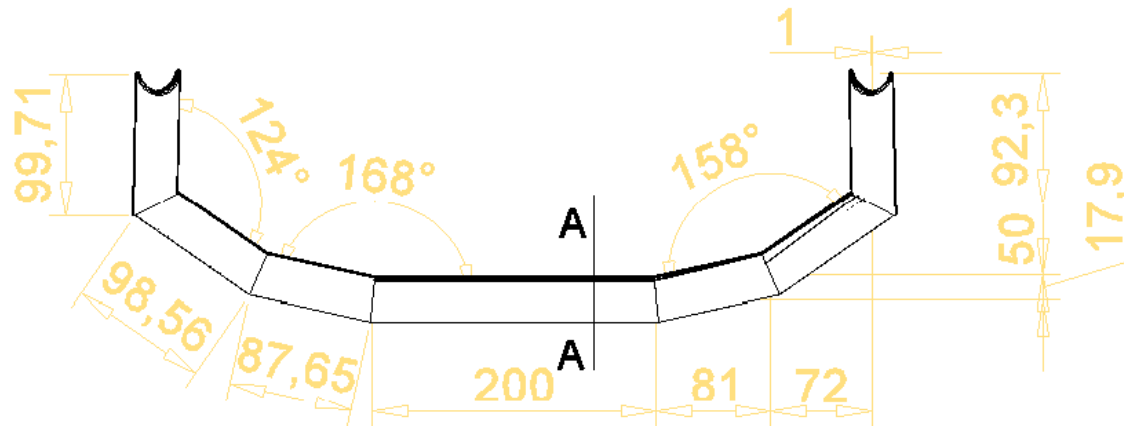
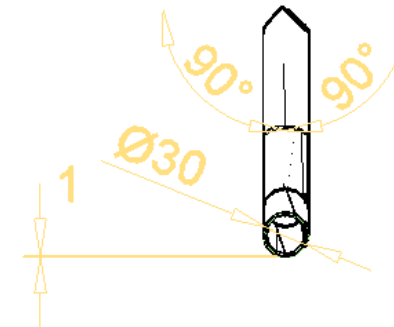
Nºrev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Comprobado



NOMBRE DE ARCHIVO Estructura Prototipo.dwg	Nº FSCM	PLANO 4	ESCALA 1:5
TAM.	Universidad Carlos III de Madrid		
DIBUJADO 27/08/2013			
COMPROBAR	Soporte Eje Shell Eco-marathon UC3M		
APROB.			
REALIZADO Ignacio J. Dufour García	Nº DIB 4-15		
REV			
CONTRATO Nº			

Nº rev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Comprobado

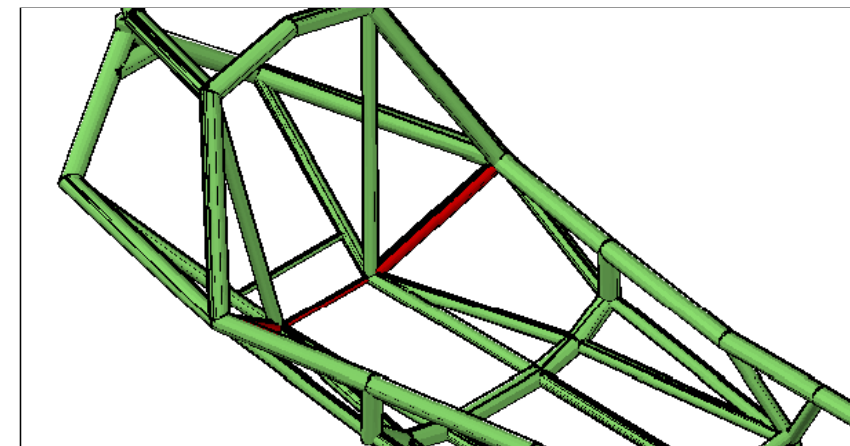
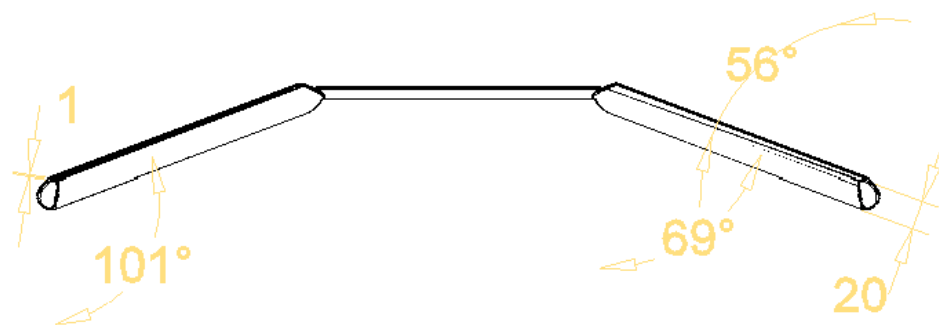
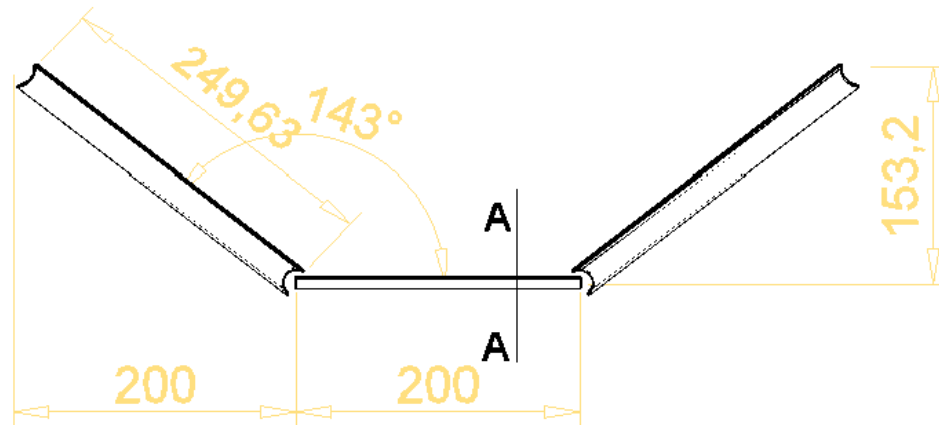
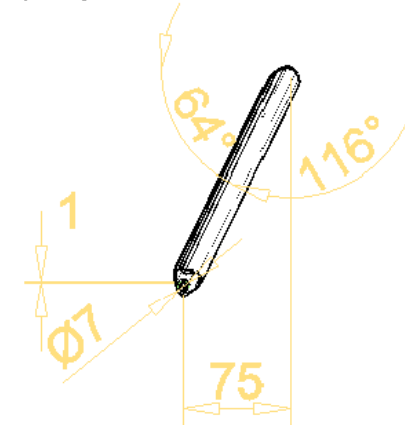
CORTE A-A



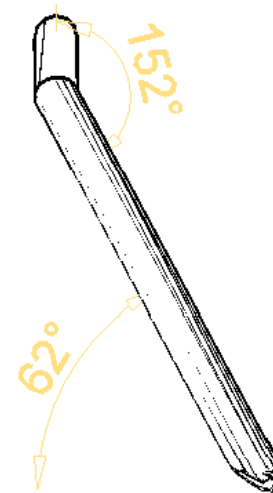
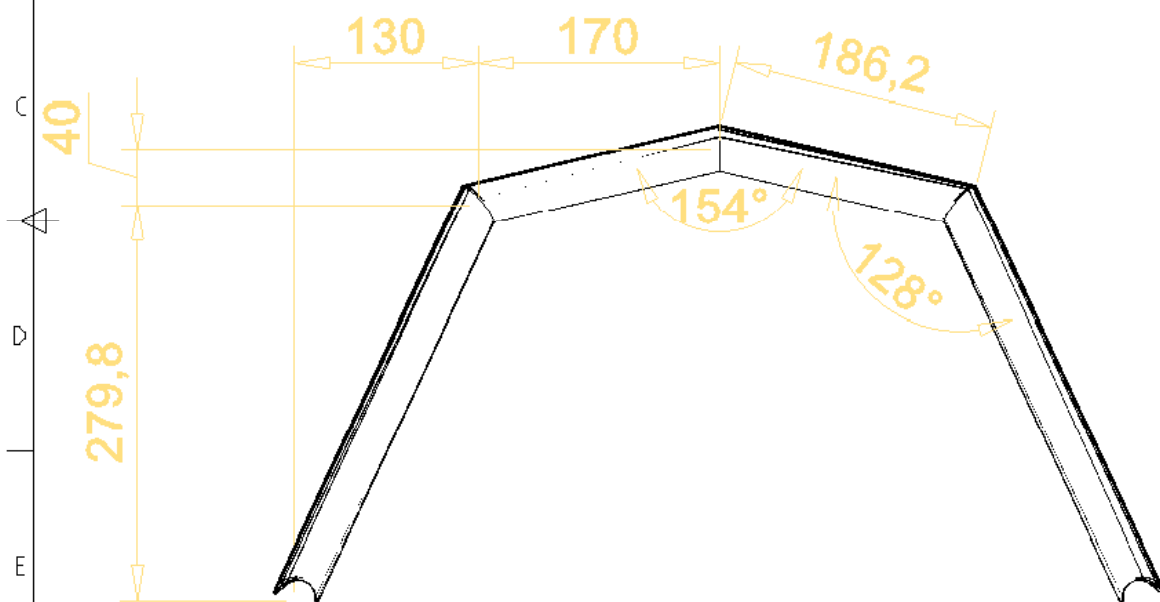
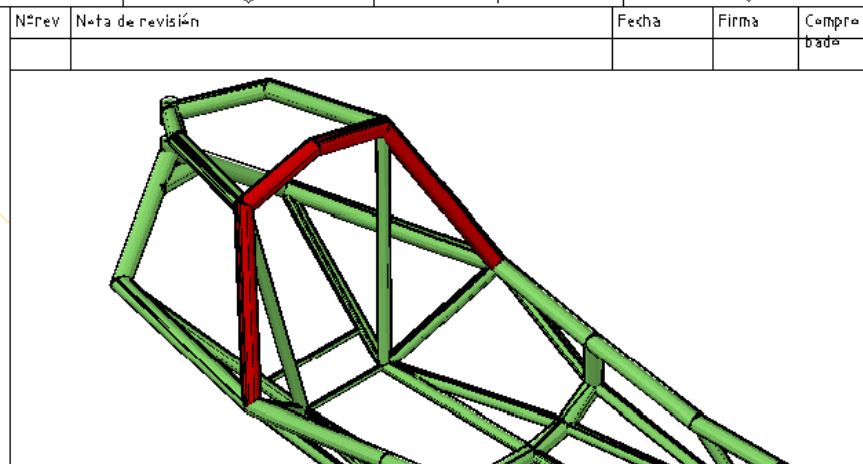
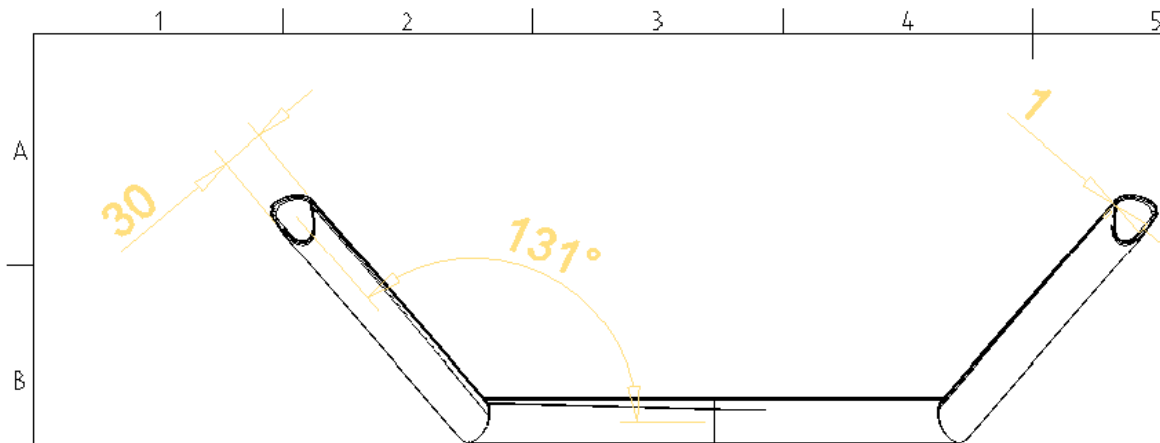
NOMBRE DE ARCHIVO Estructura Prototipo.dwg	Nº FSCM	PLANO 5	ESCALA 1:5
TAM.		Universidad Carlos III de Madrid	
DIBUJADO 27/08/2013		Travesaño	
COMPROBAR		Shell Eco-marathon UC3M	
APROB.		Nº DIB	
REALIZADO Ignacio J. Dufour García		5-15	
REV			
CONTRATO Nº			

Nº rev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Comprobado

CORTE A-A



NOMBRE DE ARCHIVO Estructura Prototipo.dwg	Nº FSCM	PLANO 6	ESCALA 1:5
TAM.		Universidad Carlos III de Madrid	
DIBUJADO 27/08/2013		Arco Seguridad Inf.	
COMPROBAR		Shell Eco-marathon UC3M	
APROB.			
REALIZADO Ignacio J. Dufour García			
REV			
CONTRATO Nº		Nº DIB 6-15	

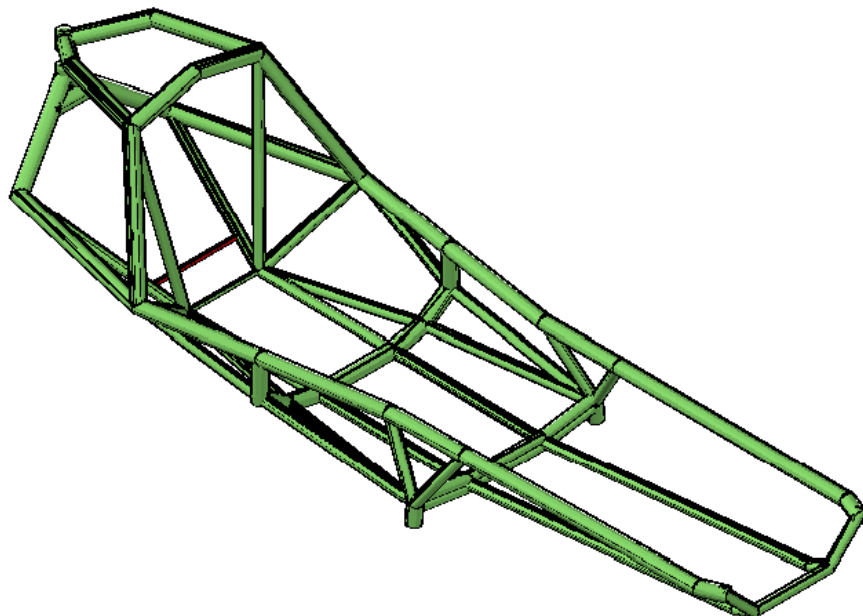


NOMBRE DE ARCHIVO Estructura Prototipo.dwg		Nº FSCM	PLANO 7	ESCALA 1:5
TAM.		Universidad Carlos III de Madrid		
DIBUJADO 27/08/2013				
COMPROBAR		Arco Seguridad Sup. Shell Eco-marathon UC3M		
APROB.				
REALIZADO Ignacio J. Dufour García		Nº DIB 7-15		
REV				
CONTRATO Nº				

Nºrev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Comprobado



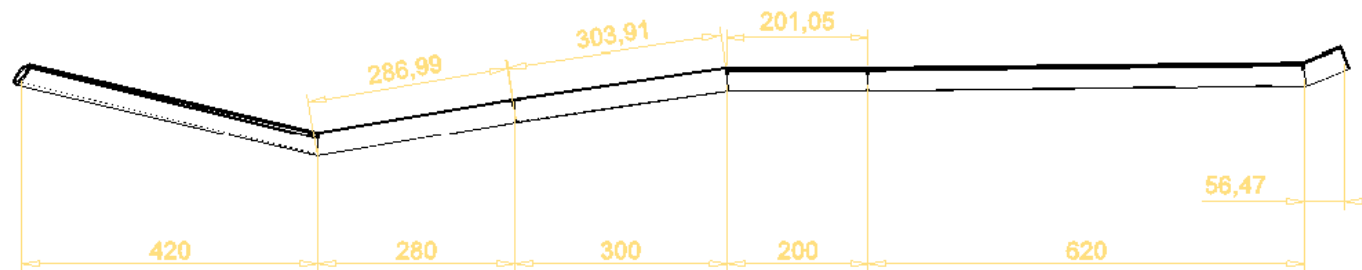
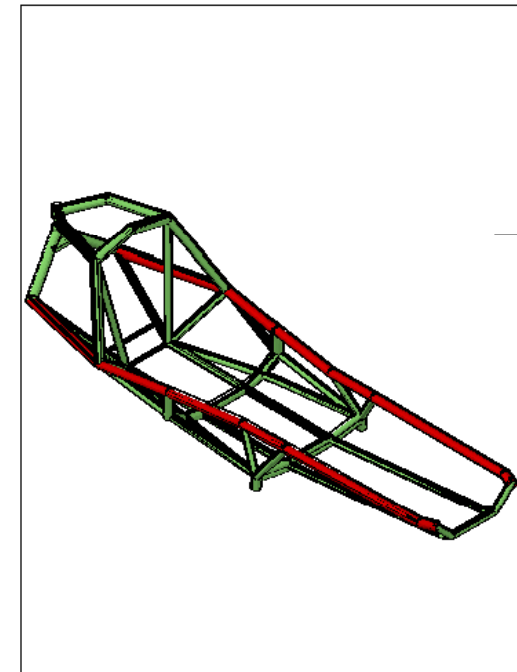
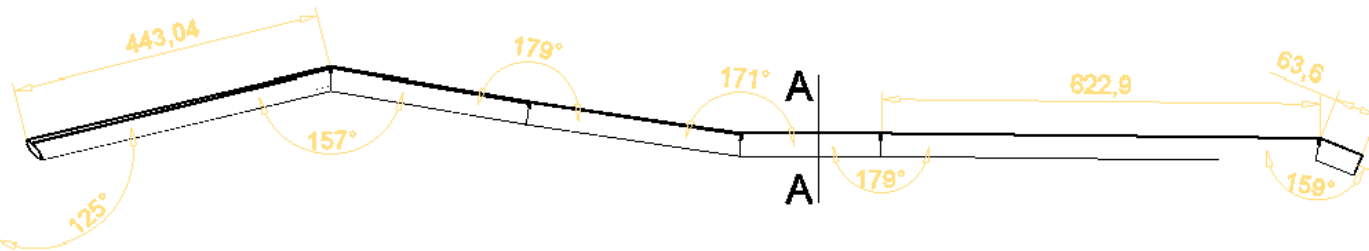
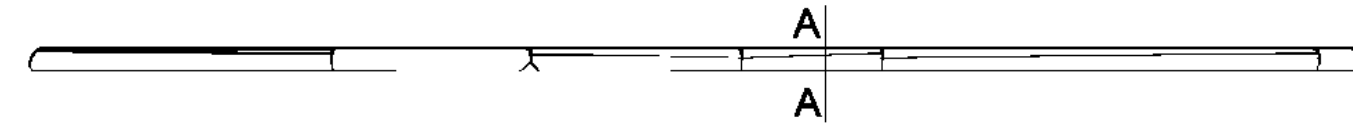
244



NOMBRE DE ARCHIVO Estructura Prototipo.dwg	Nº FSCM	PLANO 8	ESCALA 1:2
TAM.		Universidad Carlos III de Madrid	
DIBUJADO 27/08/2013		Barra Extintor	
COMPROBAR		Shell Eco-marathon UC3M	
APROB.			
REALIZADO Ignacio J. Dufour García			
REV		Nº DIB	
CONTRATO Nº		8-15	

Nº rev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Comprobado

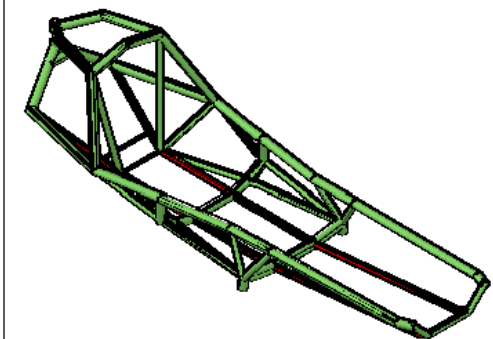
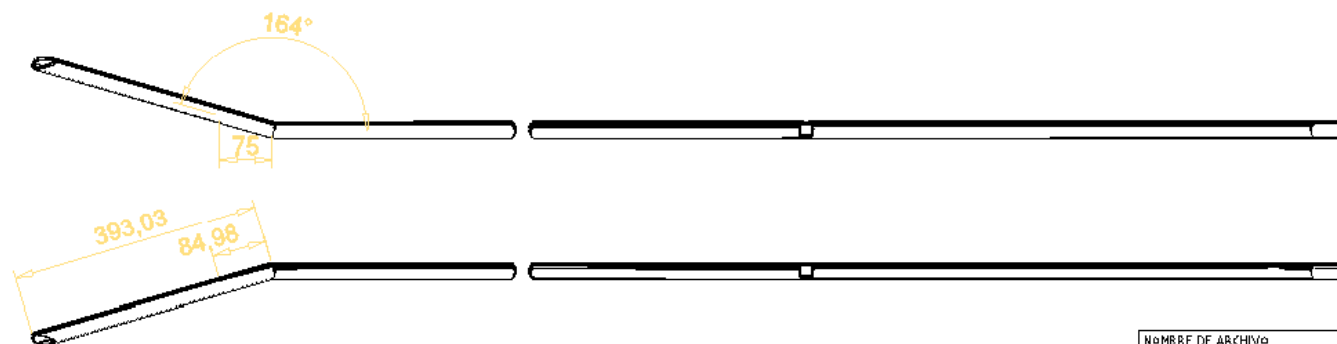
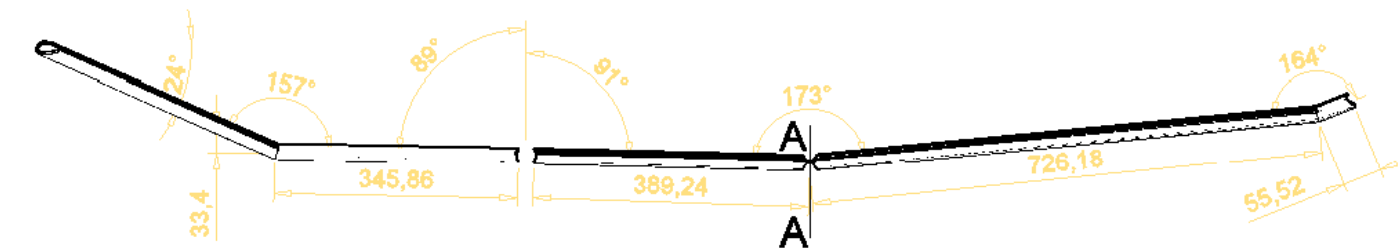
CORTE A-A



NOMBRE DE ARCHIVO Estructura Prototipo.dwg	Nº FSCM	PLANO 9	ESCALA 1:10
TAM.		Universidad Carlos III de Madrid	
DIBUJADO 27/08/2013		Larguero Superior	
COMPROBAR		Shell Eco-marathon UC3M	
APROB.		Nº DIB	
REALIZADO Ignacio J. Dufour García		9-15	
REV			
CONTRATO Nº			

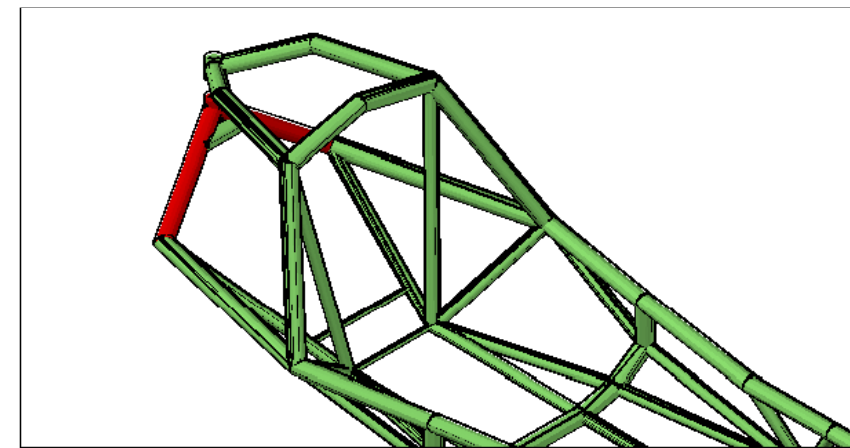
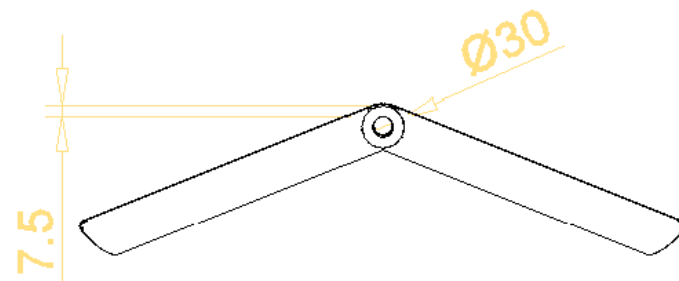
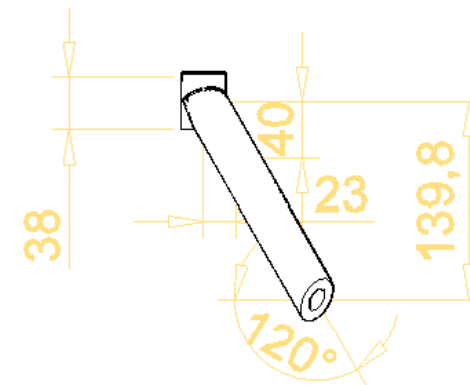
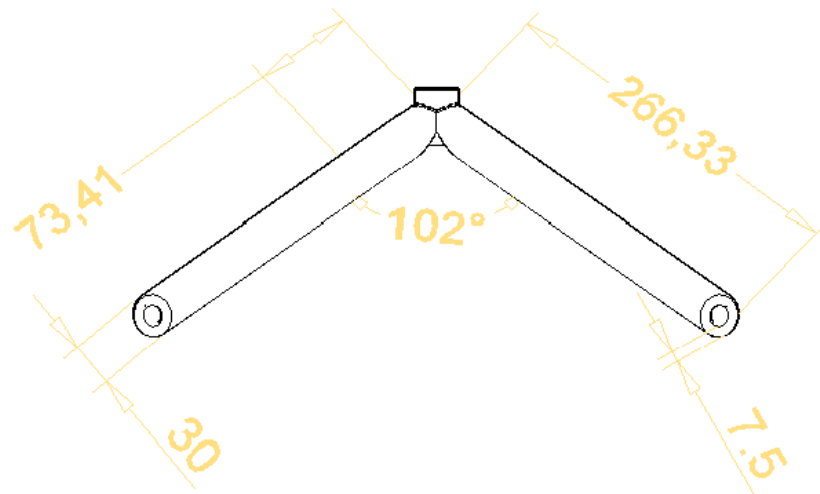
Nº rev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Comprobado

CORTE A-A



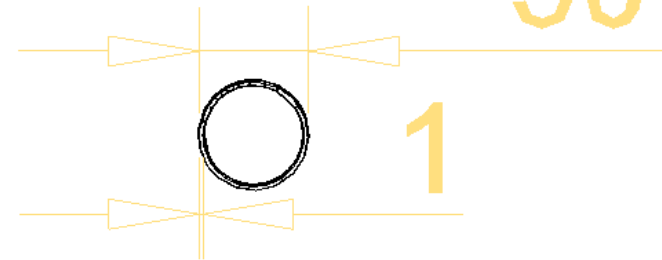
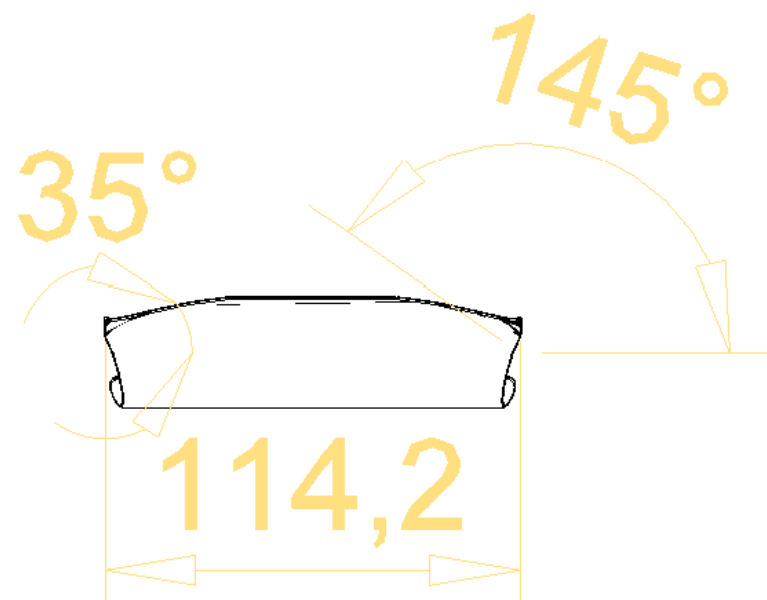
NOMBRE DE ARCHIVO Estructura Prototipo.dwg	Nº FSCM	PLANO 10	ESCALA 1:10
TAM.		Universidad Carlos III de Madrid	
DIBUJADO 27/08/2013		Larguero Inferior	
COMPROBAR		Shell Eco-marathon UC3M	
APROB.			
REALIZADO Ignacio J. Dufour García			
REV			
CONTRATO Nº		Nº DIB 10-15	

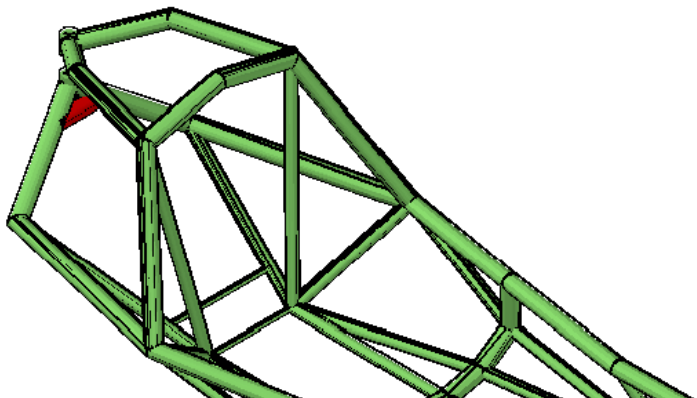
Nº rev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Comprobado



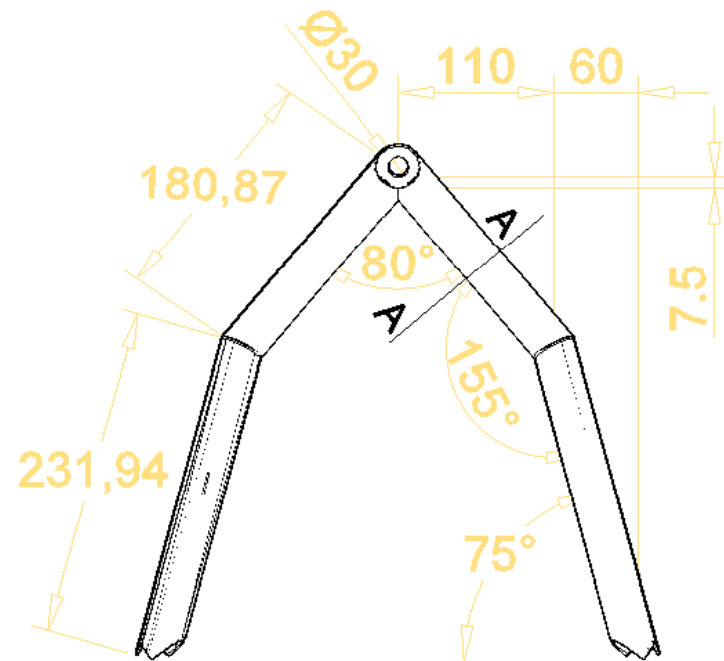
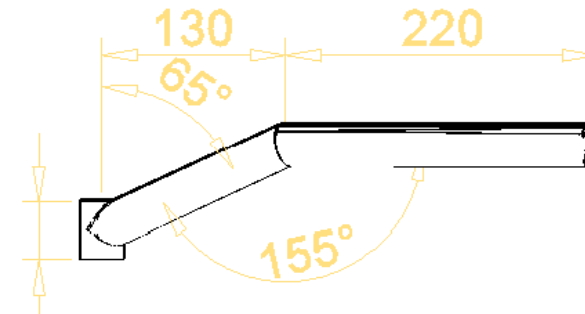
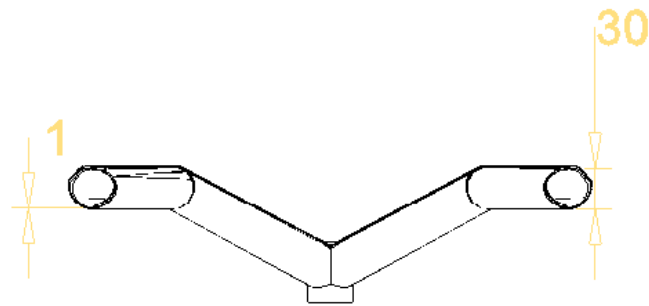
NOMBRE DE ARCHIVO Estructura Prototipo.dwg	Nº FSCM	PLANO 11	ESCALA 1:5
TAM.		Universidad Carlos III de Madrid	
DIBUJADO 27/08/2013		Conj. Eje Vertical Inf.	
COMPROBAR		Shell Eco-marathon UC3M	
APROB.			
REALIZADO Ignacio J. Dufour García			
REV			
CONTRATO Nº		Nº DIB 11-15	

Nº rev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Comprobado

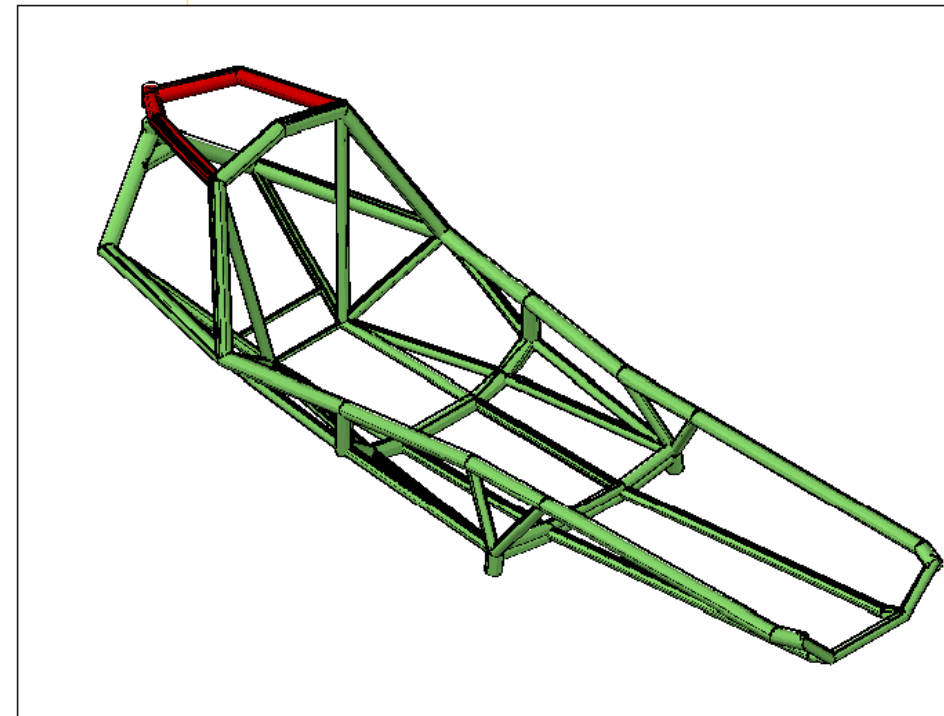
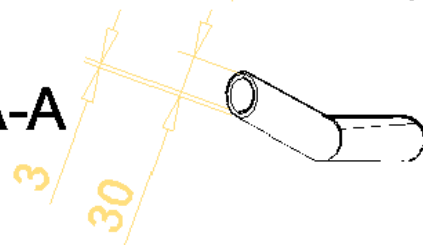


		PLANO	ESCALA
NOMBRE DE ARCHIVO Estructura Prototipo.dwg		12	1:2
TAM.		Universidad Carlos III de Madrid	
DIBUJADO 27/08/2013		Ref. Conj. Inferior	
COMPROBAR		Shell Eco-marathon UC3M	
APROB.		Nº DIB	
REALIZADO Ignacio J. Dufour García		12-15	
REV			
CONTRATO Nº			

Nº rev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Comprobado

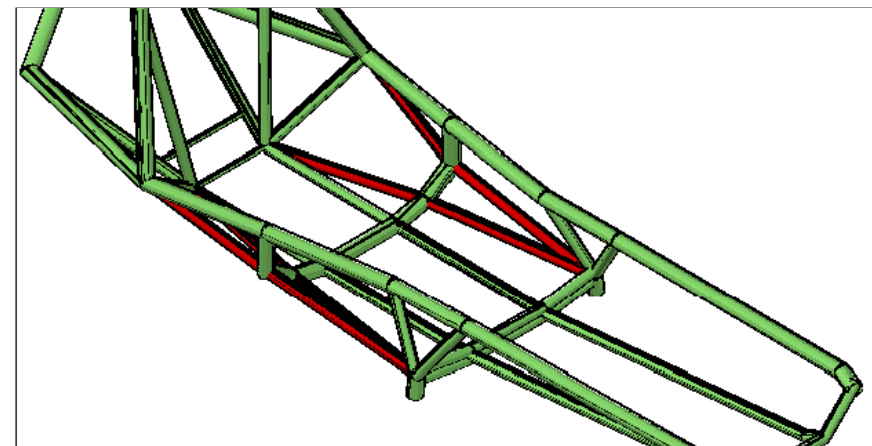
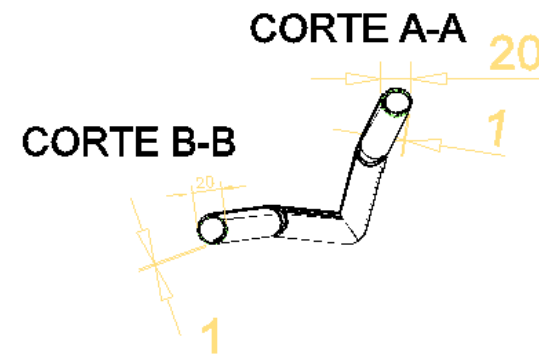
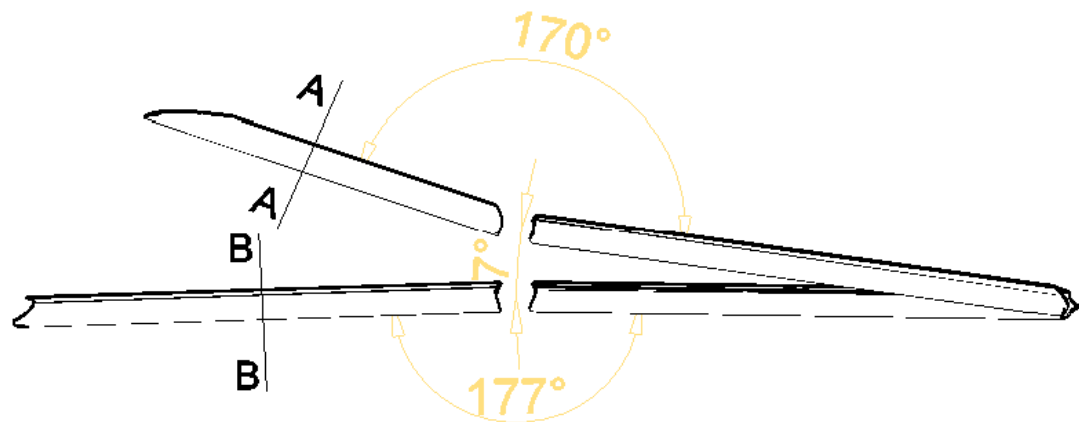


CORTE A-A



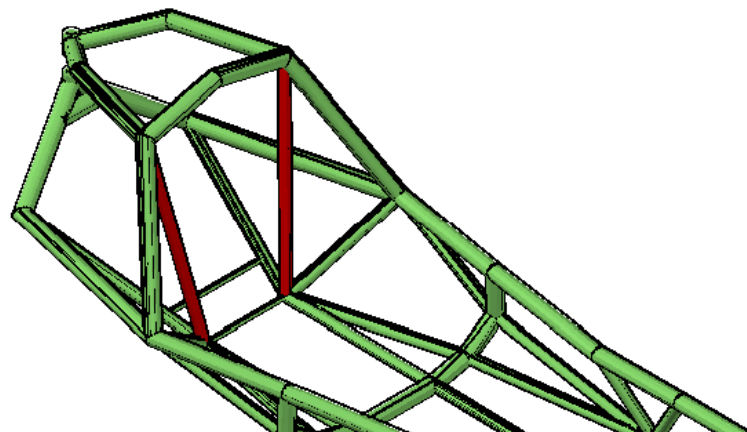
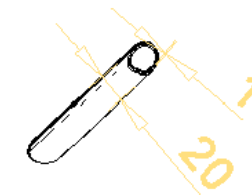
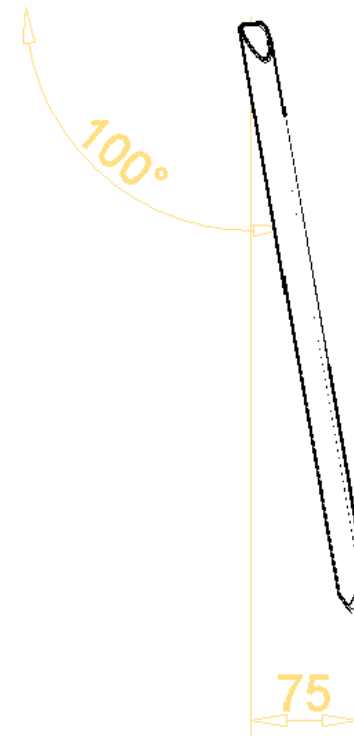
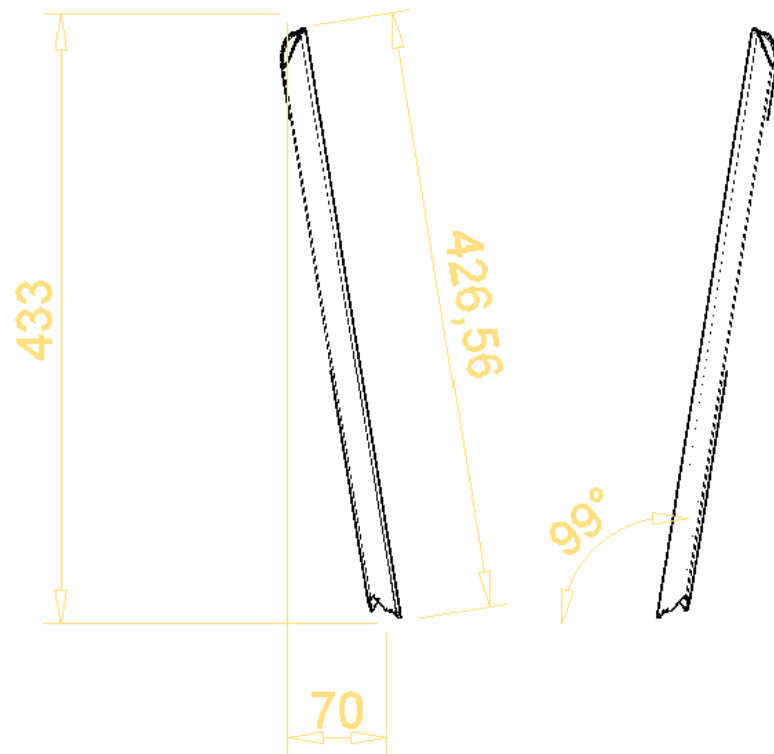
NOMBRE DE ARCHIVO Estructura Prototipo.dwg	Nº FSCM	PLANO 13	ESCALA 1:5
TAM.		Universidad Carlos III de Madrid	
DIBUJADO 27/08/2013		Conj. Eje Vertical Sup. F	
COMPROBAR		Shell Eco-marathon UCM	
APROB.			
REALIZADO Ignacio J. Dufour García			
REV			
CONTRATO Nº		Nº DIB 13-15	

Nº rev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Comprobado



NOMBRE DE ARCHIVO Estructura Prototipo.dwg	Nº FSCM	PLANO 14	ESCALA 1:5
TAM.		Universidad Carlos III de Madrid	
DIBUJADO 27/08/2013		Refuerzo Lateral	
COMPROBAR		Shell Eco-marathon UC3M	
APROB.			
REALIZADO Ignacio J. Dufour García			
REV		Nº DIB	
CONTRATO Nº		14-15	

Nº rev	Nota de revisión	Fecha	Firma	Comprobado



NOMBRE DE ARCHIVO Estructura Prototipo.dwg	Nº FSCM	PLANO 15	ESCALA 1:5
TAM.		Universidad Carlos III de Madrid	
DIBUJADO 27/08/2013		Barra Respaldo	
COMPROBAR		Shell Eco-marathon UC3M	
APROB.		Nº DIB	
REALIZADO Ignacio J. Dufour García		15-15	
REV			
CONTRATO Nº			